



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VÝVOJ A PERSPEKTIVY SYSTÉMU COMMON RAIL

DEVELOPMENT AND PERSPECTIVES OF COMMON RAIL SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Gach

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jakub Gach**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vývoj a perspektivy systému common rail

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě soustředěných podkladů charakterizovat jednotlivé etapy vývoje systémů common rail.

Cíle bakalářské práce:

Pro vývojové etapy systémů vstřikování paliva common rail soustředit a kriticky zhodnotit jejich hlavní technické parametry.

Nastítnit perspektivu dalšího vývoje systémů common rail.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3rd edition. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, 1999. 641 s. ISBN 0768004950.

HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

KÖHLER, Eduard. Verbrennungsmotoren: Motormechanik, Berechnung und Auslegung des Hubkolbenmotors. 3. verb. Aufl. Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 2002. 548 s. ISBN 3-528-23108-4.

HAFNER, Karl Ernst a MAASS, Harald. Kräfte, Momente und deren Ausgleich in der Verbrennungskraftmaschinen. Wien, New York: Springer Verlag, 1995. 424 s. ISBN 978-3-7091-768-5.

SKOTSKY, Alexander A. Automotive engines: control, estimation, statistical detection. Berlin: Springer Verlag, 2009. 215 s. ISBN 978-3-642-00163-5.

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. 179 s. ISBN 978-80-87143-15-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na vstřikovací systém s vysokotlakým zásobníkem Common Rail. Popisuje počátky systému, jeho princip a funkci jednotlivých částí systému. Zabývá se rovněž vývojem jednotlivých generací systému a jejich použití. Z práce vychází, že se jedná o jeden z nejlepších vstřikovacích systémů současnosti, který splňuje všechny novodobé požadavky potřebné při konstrukci a návrhu vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

vznětový motor, Common Rail, vstřikovací systém, vstřikovač, vysokotlaké čerpadlo, palivový zásobník, generace

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the Common Rail injection system. It describes the origins of the system, its principle and the function of the individual parts of the system. It also deals with the development of individual system generations and their use. It is clear from the thesis that it is one of the best present-day injection systems that meets all the today's requirements for the design and construction of a vehicle.

KEYWORDS

diesel engine, Common Rail, injection system, injector, high pressure pump, fuel rail, generation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GACH, J. *Vývoj a perspektivy systému common rail*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 69 s. Vedoucí bakalářské práce pan Václav Pištěk.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Jakub Gach

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu prof. Ing. Václavu Pištěkovi, DrSc. za rady a připomínky udělené při vypracovávání této bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

Úvod	9
1 Historie	10
1.1 Vznik zážehového motoru	10
1.2 Vznik vznětového motoru	10
1.3 Spalovací motor v automobilech	11
2 Vlastnosti vznětových motorů	13
3 Základní princip systému Common Rail a jeho počátky	14
3.1 Počátky systému Common Rail	14
3.2 Základní princip funkčnosti systému Common Rail	15
4 Vstřikovací systém Common Rail	16
4.1 Nízkotlaká část	18
4.2 Vysokotlaká část	21
4.3 Elektronická regulace vznětových motorů EDC	34
5 Vývoj generací	38
5.1 Bosch	38
5.2 Denso	55
5.3 Delphi	57
5.4 Liebherr	59
6 Budoucí vývoj	61
Závěr	62
Seznam použitých zkratek a symbolů	69

ÚVOD

Déle než jedno století se mnozí technici a konstruktéři snažili vymyslet zařízení, které by umožnilo přeměnu energie zahrnuté v palivu na energii mechanickou. Po mnoha neúspěšných pokusech se však objevily zařízení, které toto dokázaly. První zařízení vynalezl Nikolaus Otto, jenž zkonstruoval zážehový motor. Později po více než 20 letech byl vynalezen i vznětový motor zkonstruovaný Rudolfem Dieselem. V průběhu let docházelo k vylepšování obou zařízení, která se později objevila v prvních automobilech. Konkrétně v roce 1936 byl poprvé použit vznětový motor v osobním vozidle Mercedes-Benz 260 D.

Oblíbenost vznětového motoru s přibývajícím časem rostla a v určité době se stal jedním z nejoblíbenějších a nejpoužívanějších systémů spalování. Jeho výhody spočívají zejména ve vysoké účinnosti a úspornosti paliva. V průběhu dějin vznikaly různé druhy vstřikovacích systémů. Nejpoužívanějším byl bezesporu systém čerpadlo-tryska, který se skládal ze společné jednotky, tzv. sdružené jednotky, obsahující čerpadlo a trysku. Palivo bylo dopravováno do čerpadla v jednotce, následně pak tlakováno na vyšší tlak a předáno do trysky, která byla zodpovědná za vstřikování paliva do spalovacího prostoru. Tento systém byl velmi oblíbený až do doby vzniku nového vstřikovacího systému Common Rail, který oproti předchozímu pracuje s tlakovým zásobníkem paliva, ve kterém je palivo uloženo a vždy připraveno ke vstřikování.

Jeho vysoký tlak vstřikování, přesný okamžik vstřiku a vstřikovaného množství zaručovaly lepší rozprášení a spalování paliva, což mělo kladný vliv na ekonomičnost, lepší a tišší chod motoru a redukci emisí výfukových plynů. Proto se stal systém Common Rail velice populárním a oblíbeným a jeho využití nadále rostlo.

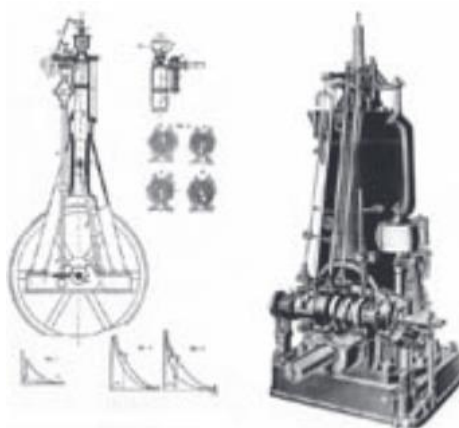
1 HISTORIE

1.1 VZNIK ZÁŽEHOVÉHO MOTORU

Psal se rok 1878, když Nikolaus August Otto předvedl první ležatý čtyřdobý zážehový spalovací motor na svítiplyn. Motor měl výkon asi 3 kW při otáčkách 170 min^{-1} . Tento významný objev znamenal definitivní nástup spalovacího motoru a vítězství nad parním strojem. Na rozdíl od parního stroje byl Ottův motor tišší, menší a účinnější. Ottův vynález se dále upravoval a vylepšoval, aby se docílilo, co nejlepší účinnosti a spolehlivosti. S postupem času našel motor velké uplatnění v mnoha odvětvích, zejména v dopravním průmyslu. Dnes se Ottův cyklus využívá ve většině zážehových motorů osobních automobilů [1],[2].

1.2 VZNIK VZNĚTOVÉHO MOTORU

Za otce vznětového motoru je považován Němec Rudolf Diesel. Zabýval se praktickou termomechanikou na univerzitě v Paříži. Po pokusech s uhelným prachem postavil Diesel v továrně Maschinenfabrik, která byla umístěna v Augsburgu (později MAN), vznětový motor, který spaloval petrolej. Diesel přihlásil patent na tepelný stroj spalující kapalné či jiné palivo při konstantním tlaku. Roku 1897 se rozběhl tzv. „Dieselův“ motor s výkonem 13,1 kW při otáčkách 150 min^{-1} . Jeho účinnost dosahovala úctyhodných 26,2 %. Vznětový motor tak mohl nahradit parní stroj, který se používal k pohonu strojů, zařízení v budovách a k pohonu lodí a lokomotiv. Později v roce 1900 byl motor oceněn Velkou cenou na světové výstavě konající se v Paříži. Díky tomu uzavřely s Dieselem smlouvu kodaňské loděnice a roku 1911 vyplula loď „Seelandia“ se dvěma osmiválcovými dieselovými motory na vodu. Dieselův motor rychle našel využití v průmyslu a dopravě. Avšak až 20 let po jeho objevení se podařilo vymyslet vhodné vstřikovací zařízení, které umožnilo použití vznětového motoru v automobilech [1].



Obr. 1 Vznětový motor Deutz Diesel [1]

1.3 SPALOVACÍ MOTOR V AUTOMOBILECH

Již od sedmdesátých let 19. století byl pístový spalovací motor využíván k pohonu stabilních zařízení, avšak ještě dalších deset let trvalo, než mohl být poprvé použit ve vozidlech. Právě o prvenství zkonstruovaného vozidla se spalovacím motorem se vedou spory. Nikdo neví, podle čeho přesně určit prvenství. Jestli podle toho, zda je rozhodujícím okamžikem datum podání patentu, přiznání patentu, první úspěšné jízdy, či dokonce jízdy neúspěšné, nebo zda si slávu zaslouží jen ti, kterým se podařilo zachovat výrobní kontinuitu. Každá země proto měla své první zkonstruované vozidlo, například pro Francouze je tak prvním automobilem vůz Lenoirův (1863), pro Němce Benzův a Daimlerův (1886) a pro Rakušany Marcusův (1875). Přestože se o použití motorů ve vozidlech zajímalo mnoho významných osob, právě Étienne Lenoir postavil v roce 1862 tříkolové vozidlo s plynovým motorem s bateriovým zapalováním. První jízda vozidla „Hippomobil“ s rychlostí 18 km/h se uskutečnila o rok později. Podle některých zdrojů vůz spaloval vodík, podle jiných metan. Významným objevem byl také automobil Sigfrida Marcuse, který roku 1864 postavil jednoválcový dvoudobý motor se svislým válcem o výkonu 1 PS a později v roce 1865 ho vyzkoušel ve vozíku bez řízení. O 10 let později pak zkonstruoval také vůz s jednoválcovým čtyřdobým spalovacím benzinovým motorem o objemu 1570 cm³ a výkonu 1,4 PS při otáčkách 300 min⁻¹ s odpařovacím karburátorem a magnetovým zapalováním. Zajímavostí je přitom přenos výkonu od pístu na kliku hřídele prostřednictvím vahadlového mechanismu [1].



Obr. 2 Vůz Lenoir s plynovým motorem [1]



Obr. 3 Kočár s motorem Daimler [1]

Obecně se však prvenství připisuje dvojici německých techniků Carlu Benzovi a Gottliebu Daimlerovi, kteří roku 1886 předvedli svá vícestopá vozidla se spalovacím motorem, která můžeme nazvat automobily. Benzovo vozidlo byla tříkolka a Daimlerovo byl kočár s vestavěným motorem. Důležitým poznatkem je také to, že Benz pojal konstrukci vozidla jako celek, nýbrž Daimler pouze zkoušel motor v kočáru, který koupil od stuttgartské firmy Wimpff & Sohn [1].

Konstruktor:	Benz	Daimler
Koncepce:	tříkolka 1 + 2	kočárový typ 2 + 2
Rám podvozku:	ocelové trubky	obdélníkový, dřevo
Motor – válec:	ležatý	svislý
– objem:	954 cm ³	460 cm ³
– výkon:	2 PS	4 PS
– otáčky:	200 min ⁻¹	900 min ⁻¹
Zapalování:	elektrické, odtrhové	žárovou trubicí
Chlazení:	vodou	vzduchem
Převody:	třecí spojka a dvou- stupňová převodovka	
Rychlost:	16 km/h	18 km/h

Obr. 4 Parametry dochovaných vozidel Benz a Daimler z roku 1886 [1]

2 VLASTNOSTI VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

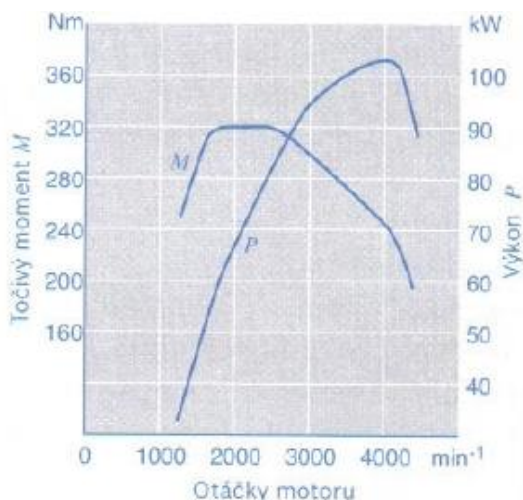
Na počátku vývoje automobilů sloužil jako hnací agregát silničních vozidel zážehový motor. V roce 1927 však bylo vyrobeno první nákladní vozidlo a později v roce 1936 i osobní vozidlo se vznětovým motorem. Tím započal jejich velký rozvoj. Vznětové motory se díky své hospodárnosti a dlouhé životnosti prosadily u nákladních vozidel. U osobních vozidel trvalo delší dobu, než našly své uplatnění. Avšak s příchodem moderních vznětových motorů s přímým vstřikem a přeplňováním se idea vznětových motorů změnila. Hlavními kladnými aspekty vznětových motorů jsou: hospodárnost, radost z jízdy a ekologická nezávadnost [3].

Hospodárnost

Spotřeba paliva je vůči srovnatelnému zážehovému motoru vždy nižší, což vyplývá z vyšší tepelné účinnosti. V mnoha evropských zemích je nafta zatížena nižší daní, a proto i přes vyšší pořizovací náklady automobilů se vznětovým motorem je pro mnoho řidičů výhodnější alternativou [3].

Radost z jízdy

Téměř vždy vznětové motory pracují s přeplňováním, díky kterému může být již v nízkém rozsahu otáček motoru dosaženo vysokého stupně naplnění válce. Tomu může být odpovídajícím způsobem vstříknuto vysoké množství paliva, čímž motor vyvine vysoký točivý moment. Výsledkem je jízda s vysokým točivým momentem i při nízkých otáčkách motoru, protože pro tažnou sílu je důležitý točivý moment a nikoli výkon motoru [3].



Obr. 5 Typický průběh točivého momentu a výkonu vznětového motoru [3]

Ekologická nezávadnost

V dnešní době je již kouřová clona, která vznikala při velkém zatížení motoru, minulostí zejména díky vylepšeným vstřikovacím systémům a elektronické regulaci vznětových motorů. Systém může velmi přesně dávkovat množství paliva s přizpůsobením se k provoznímu bodu motoru a podmínkám okolního prostředí. Využitím této techniky jsou splněny emisní normy. Oxidační katalyzátory, které odstraňují z výfukových plynů oxid uhelnatý (CO) a uhlovodíky (HC), jsou u vznětových motorů standardem [3].

3 ZÁKLADNÍ PRINCIP SYSTÉMU COMMON RAIL A JEHO POČÁTKY

3.1 POČÁTKY SYSTÉMU COMMON RAIL

Počátky vzniku systému Common Rail sahají do konce 60. let minulého století, kdy švýcarský technik Robert Huber vytvořil první funkční prototyp systému Common Rail a později na vývoji pracoval tým z technologického institutu v Zürichu. V dalších letech se na vývoji systému podíleli také japonští inženýři z firmy Denso. Těm se podařilo vyvinout systém přímého vstřikování pro nákladní vozidla s označením ECD-U2, kterým byl vybaven také nákladní automobil Hino Raising Ranger, účastník soutěže Rallye Dakar. Vývojem systému se zabývali významní evropští inženýři z firmy Magneti Marelli a Fiatu, kteří vytvořili systém Unijet. Koncem roku 1993 odkoupila všechny potřebné patenty firma Bosch, v čele s Robertem Boschem, která pokračovala ve vývoji a výzkumu systému [4].

V roce 1997 firma Bosch uvedla vstřikovací systém na trh. Ten se nejprve objevil v motorech 1.9 JTD (Alfa Romeo, Fiat, Lancia) a později také u jiné motorizace, a to 3.2 CDI (Mercedes-Benz) nebo 2.0 HDi (Peugeot, Citroen). Konkrétně prvním automobilem vybavených tímto systémem byla Alfa Romeo 156 a později Mercedes-Benz E320 [4],[5].



Obr. 6 Alfa Romeo 156 [6]



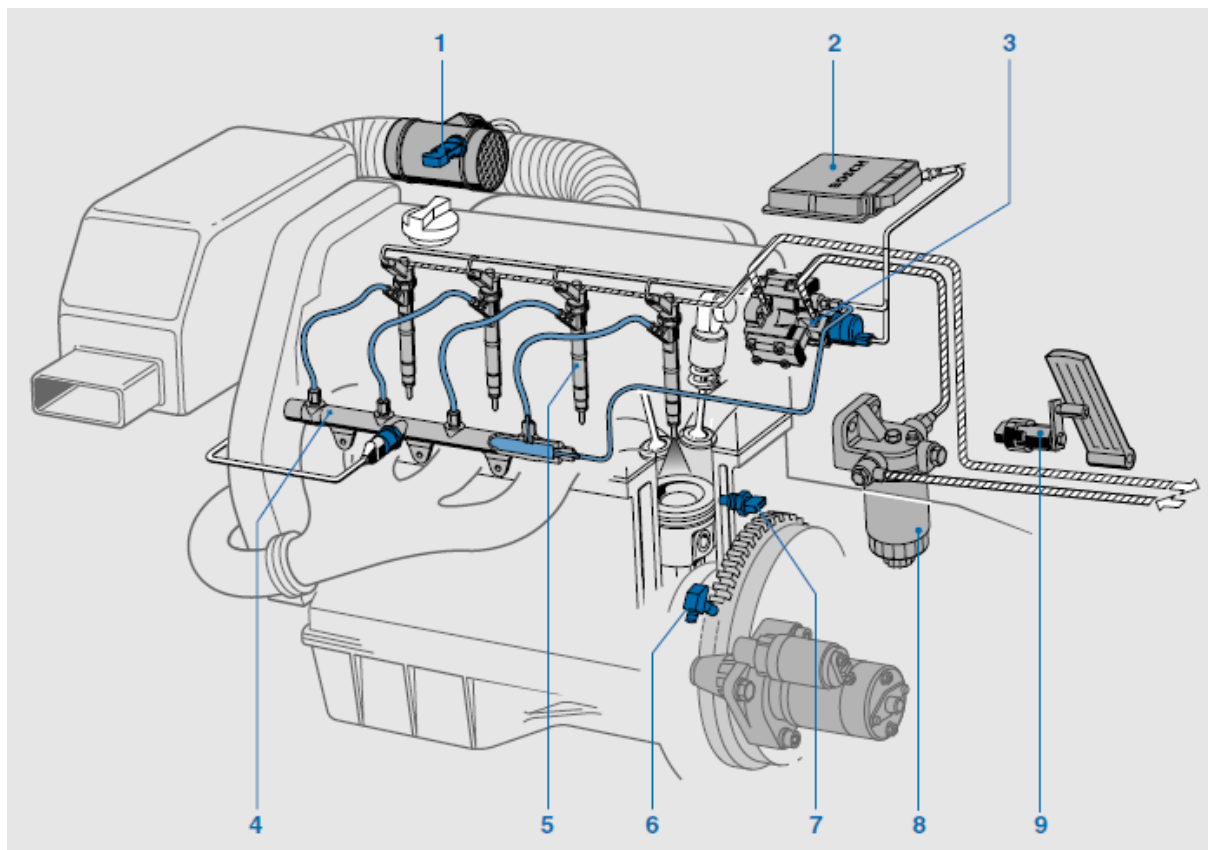
Obr. 7 Mercedes-Benz E320 [7]

3.2 ZÁKLADNÍ PRINCIP FUNKČNOSTI SYSTÉMU COMMON RAIL

Na rozdíl od jiných vstřikovacích systémů, motory Common Rail pracují s tlakem paliva vznikajícím nezávisle na jednotlivých vstřicích do válců. To znamená, že v systému Common Rail je odděleno vytváření tlaku a vstřikování. Vstřikovací tlak je vytvářen nezávisle na otáčkách motoru a vstřikované dávce. Vysokotlaké čerpadlo plní společný palivový zásobník (Rail-trubka) palivem pod vysokým tlakem. Palivo zde zůstává trvale stlačeno a je připraveno v palivovém potrubí, na rozdíl od původního systému (čerpadlo-tryska), kde bylo pro každé vstřikování zapotřebí stálé nový nárůst tlaku paliva. Palivový zásobník je konstruován tak, že má dostatečný objem, takže kolísání tlaku je omezeno na minimum. Z Railu následně jednotlivé vstřikovací ventily uvolňují potřebné množství paliva pro každý jednotlivý válec motoru. Vstřikovaná dávka je určena řidičem, okamžik vstřiku a vstřikovací tlak jsou vypočteny z uložených datových polí hodnot v elektronické řídicí jednotce. Jinými slovy za celý proces vstřiku paliva odpovídá elektronická řídicí jednotka, která využívá přesně stanovených hodnot podle zatížení motoru [8],[9].

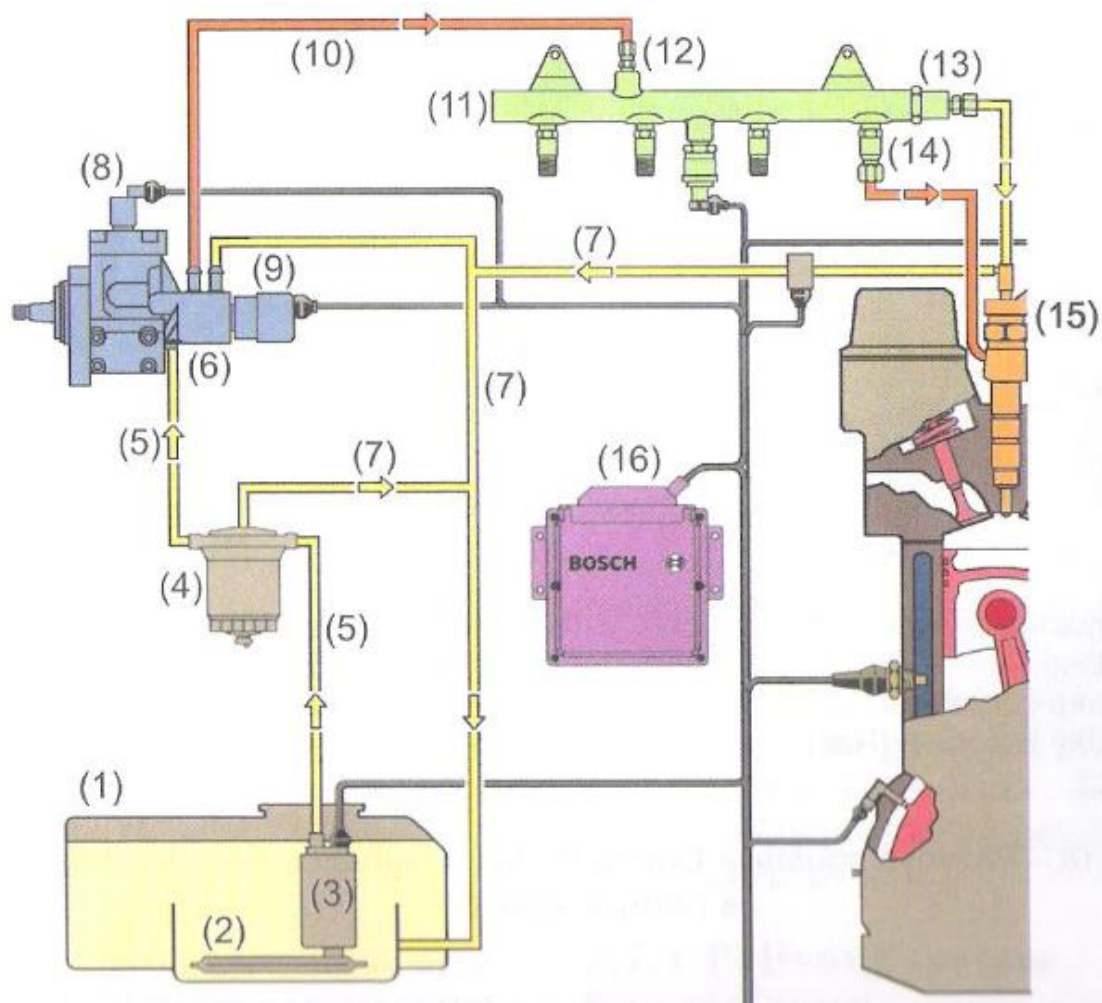
4 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM COMMON RAIL

Palivový systém vstřikovacího zařízení Common Rail se skládá z nízkotlaké části, vysokotlaké části a elektronické regulace vznětových motorů (EDC) se systémovými bloky snímačů, řídicí jednotkou a akčními členy [10].



Obr. 8 Palivová soustava Common Rail u čtyřválcového vznětového motoru [11]

- | | |
|--|---------------------------------------|
| (1) – měřič hmotnosti nasávaného vzduchu | (2) – řídicí jednotka |
| (3) – vysokotlaké čerpadlo | (4) – vysokotlaký zásobník (Rail) |
| (5) – vstřikovač | (6) – snímač otáček klikového hřídele |
| (7) – snímač teploty chladicí kapaliny | (8) – čistič paliva |
| (9) – snímač polohy akceleračního pedálu | |



Obr. 9 Palivový systém vstřikovacího zařízení Common Rail (Bosch) [12]

- | | |
|---|---|
| (1) – palivová nádrž | (2) – sací koš se sítkem |
| (3) – elektrické dopravní palivové čerpadlo | (4) – jemný čistič paliva |
| (5) – nízkotlaké palivové potrubí | (6) – vysokotlaké palivové čerpadlo |
| (7) – zpětné palivové potrubí | (8) – odpojovací ventil pístové jednotky čerpadla |
| (9) – regulátor tlaku paliva | (10) – vysokotlaké palivové potrubí |
| (11) – vysokotlaký zásobník paliva (Rail) | (12) – snímač tlaku paliva v zásobníku |
| (13) – pojistný ventil | (14) – omezovač průtoku |
| (15) – vstřikovač | (16) – řídicí jednotka |

4.1 NÍZKOTLAKÁ ČÁST

Hlavním úkolem nízkotlaké části je filtrovat a dodávat palivo pod určitým podávacím tlakem do vysokotlaké části za všech provozních podmínek. Hlavními částmi jsou palivová nádrž (1), dopravní palivové čerpadlo (3) se sacím košem (2), jemný čistič paliva (4), nízkotlaký okruh vysokotlakého čerpadla (6), zpětné palivové potrubí (7) a nízkotlaké palivové potrubí (5) propojující vše dohromady. Viz obr. 9. U některých aplikací je použito přídavné chlazení paliva ve zpětném palivovém potrubí [3],[12].

4.1.1 PALIVOVÁ NÁDRŽ

Hlavním úkolem palivové nádrže je ukládání paliva. Musí být korozivzdorná a musí zaručovat těsnost při dvojnásobku provozního tlaku, tj. přetlaku nejméně 0,3 bar. Vhodnými otvory nebo ventily musí přetlak samočinně unikat. Při náklonech nebo nárazech nesmí docházet k úniku paliva z uzavěru nádrže ani ze zařízení pro vyrovnávání tlaku. Aby se zabránilo vznícení nádrže při nehodách, je umísťována v místě odděleném od motoru [3].

4.1.2 PALIVOVÁ POTRUBÍ

Pro palivová potrubí mohou být použity jak kovové trubky, tak i pružná vedení se ztíženou hořlavostí, která jsou opletena kovovou výztuží. Konstrukce potrubí musí být navržena tak, aby nedošlo k mechanickému poškození ani k shromažďování a vznícení odkapávajícího nebo vypařujícího se paliva. Zkroucení vozidla, pohyb motoru a další vlivy nesmí nijak narušit potrubí. Všechny části palivového potrubí musí být pak chráněny proti teplu, které narušuje jejich provoz [3].

4.1.3 PALIVOVÝ FILTR PRO VZNĚTOVÉ MOTORY

Filtr musí být vybrán tak, aby přesně vyhovoval danému vstřikovacímu systému a jeho provozním podmínkám. V případě vznětových motorů se nejčastěji nachází v nízkotlakém okruhu mezi elektrickým dopravním palivovým čerpadlem a vysokotlakým čerpadlem. Z důvodu většího znečištění paliva a vyšších vstřikovacích tlaků se u vznětových motorů používají výměnné filtry, nejpoužívanější jsou filtry na zašroubování, filtry do potrubí a také nekovové filtrační elementy, které slouží jako výměnné díly do těles filtrů z hliníku, plastu nebo ocelového plechu. Přednostně jsou využívány filtrační elementy skládané hvězdnicově. Využívat se mohou také předřadné filtry, a to zejména u nákladních vozidel v zemích se zhoršenou kvalitou nafty. V dnešní době motory nové generace vyžadují zvýšené požadavky na palivové filtry. Proto se využívají speciální filtrační media, vyrobené z mnoha vrstev syntetických nebo buničitých materiálů. Ty zajišťují obrovskou kapacitu k uložení pevných částic. Novodobá filtrační media obsahují také přídavné funkce jako např. předehřev paliva, signalizaci nutnosti údržby nebo ruční pumpu pro plnění a odvzdušnění palivové soustavy po výměně filtru [3].

ÚKOLY PALIVOVÉHO FILTRU

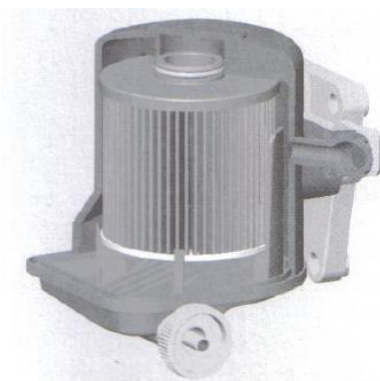
Filtrování pevných částic

Prvním úkolem palivového filtru je snížení znečištění paliva pevnými částicemi, čímž jsou komponenty palivového systému chráněny před opotřebením. V opačném případě by mohlo

dojít k nepříjemným a nákladným následkům, a to od výměny jednotlivých dílů až po výměnu celého vstříkovacího systému. Palivové filtry musí vykazovat dostatečnou kapacitu k ukládání pevných částic. Pokud by nebyla dodržena kapacita filtru k ukládání pevných částic, mohlo by dojít k jejich ucpání ještě před dobou výměny [3].

Odlučování vody

Další funkci palivového filtru u vznětových motorů je odlučování emulgované a volné vody z paliva. Tím je zabráněno poškození palivového systému korozí. Zvláště u rotačních vstříkovacích čerpadel a systému Common Rail je důležité, aby bylo účinné odlučování vody při maximálním průtoku vyšší než 93 % [3].



Obr. 10 Výměnný filtr pro vznětové motory s filtračním elementem skládaným hvězdicově [3]

4.1.4 DOPRAVNÍ PALIVOVÉ ČERPADLO

Dopravní palivové čerpadlo má za úkol zásobovat vysokotlaké komponenty dostatkem paliva, a to:

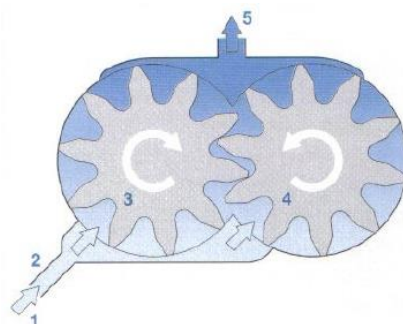
- za každého provozního stavu,
- při dodržení co nejnížší úrovně hluku,
- při dodržení požadovaného tlaku,
- po celou dobu životnosti vozidla [3].

Palivové čerpadlo čerpá palivo z palivové nádrže a kontinuálně dopravuje potřebné množství paliva do vysokotlaké části. Množstvím paliva je myšleno palivo určeno k vstřikování a proplachu. V případě doplnění úplně prázdné nádrže je možné nastartovat díky samočinnému odvzdušnění, které většina čerpadel umožňuje. V dnešní době se používají tři různé druhy dopravních čerpadel, a to buď: mechanicky poháněné zubové palivové čerpadlo, elektrické palivové čerpadlo nebo tandemové palivové čerpadlo. Jejich výtlačný tlak se pohybuje mezi 3 až 7 bar [3].

ZUBOVÉ ČERPADLO

Je umístěno buď ve vysokotlakém čerpadle a má s ním společný pohon (ozubené soukolí, spojku nebo řemen), nebo je přímo na motoru s vlastním pohonem. Dopravované množství je úměrné otáčkám motoru. Z toho důvodu je nutno regulovat množství dopravovaného paliva škrcením průtoku na straně sání nebo obtokovým přepouštěním na straně výtlačné. Hlavními částmi zubového čerpadla jsou dvě vzájemně zabírající ozubená kola, která se otáčejí

protiběžně vůči sobě a dopravují tak palivo ze strany sací k straně výtlačné pomocí zubových mezer. Čerpadlo pracuje bez nutnosti údržby. K odvzdušnění palivového systému při vyprázdňení palivové nádrže nebo při prvním startu, může být namontováno ruční čerpadlo přímo na zubové čerpadlo nebo do nízkotlakého potrubí [3],[12].



Obr. 11 Proudění paliva v zubovém čerpadle [3]

- | | |
|--|-------------------------------|
| (1) – strana sání | (2) – škrcení sání |
| (3) – primární ozubené kolo (hnací kolo) | (4) – sekundární ozubené kolo |
| (5) – výtlačná strana | |

ELEKTRICKÉ PALIVOVÉ ČERPADLO

Používá se pouze u osobních a lehkých užitkových vozidel. V případě nutnosti je zodpovědné za zastavení dodávky paliva, a to díky sledovacímu systému. Čerpadlo může být válečkové nebo odstředivé lopatkové. Většinou je umístěno přímo v palivové nádrži. Avšak může být také vestavěno do potrubí mezi palivovou nádrží a palivový filtr. Běžnější varianta čerpadla je v nádrži uchopena pomocí speciálního držáku, který obsahuje většinou ještě i síto na straně sání. Dále obsahuje indikátor stavu paliva, elektrické a hydraulické vnější přípojky, a také nádobu sloužící jako zásobník paliva spirálovitého tvaru. Po spuštění motoru začne čerpadlo souvisle a nezávisle na otáčkách motoru nasávat palivo z nádrže přes filtr až do vstřikovací soustavy (vysokotlaké části). Jeho výtlačný tlak je mezi 1 až 6,5 bar. Přebytečné palivo je pak vráceno do nádrže zpět pomocí přepouštěcího ventilu. Dalším prvkem je zabezpečení pomocí obvodu, který zabráňuje dodání paliva, když motor stojí nebo je zapnuté zapalování. Základními funkčními prvky elektrického čerpadla jsou: element čerpadla, elektromotor a připojovací víko [3],[12].

Element čerpadla

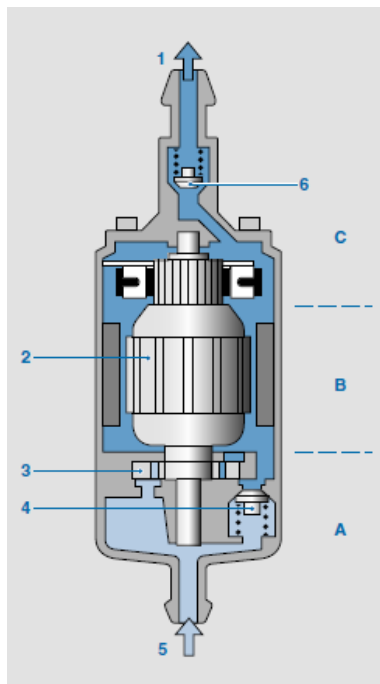
Jednotlivé elementy čerpadla jsou často provedeny různě, neboť každý používaný funkční princip je závislý na tom, v jaké oblasti má být elektrické palivové čerpadlo použito. Vznětové motory nejčastěji používají válečková lamelová čerpadla [3].

Elektromotor

Základní části elektromotoru jsou kotva a soustava permanentních magnetů. Chlazení motoru je zajištěno obtékáním paliva, což umožňuje vysoký výkon motoru bez použití obtížných těsnění mezi elektromotorem a elementem [3].

Připojovací víko

Součástí víka jsou elektrické přípojky a tlaková přípojka. Tlaková přípojka se nachází na výtláčné straně čerpadla. Připojovací víko obsahuje také zpětný ventil. Ten znemožňuje palivu opuštění palivového vedení po vypnutí čerpadla. Víko může obsahovat i odrušovací člen [3].



Obr. 12 Jednostupňové elektrické čerpadlo [11]

A – element čerpadla

(1) – strana tlaku

(2) – kotva motoru

B – elektromotor

(3) – element čerpadla

(4) – omezovač tlaku

C – připojovací víko

(5) - strana sání

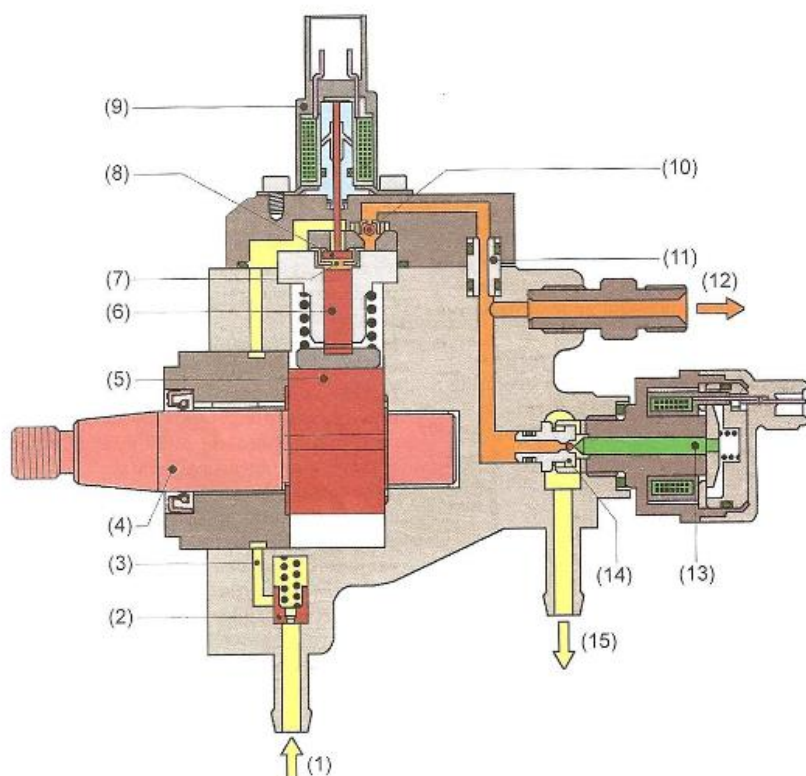
(6) - zpětný ventil

4.2 VYSOKOTLAKÁ ČÁST

Vysokotlaká část se dělí na tři hlavní oblasti, v níž každá plní určitou roli. Oblasti vysokotlaké části jsou: vytváření tlaku, udržování tlaku a rozdělování a odměřování množství vstřikovaného paliva. Za první oblast čili vytváření tlaku, je zodpovědné vysokotlaké čerpadlo. Zásobník paliva neboli Rail slouží k udržování tlaku. Rozdělování a odměřování paliva pak kontrolují vstřikovače. Vysokotlaká část se skládá z vysokotlakého čerpadla (6) s odpojovacím ventilem jednotky čerpadla (8) a regulátorem tlaku paliva (9), dále pak z vysokotlakého zásobníku paliva Railu (11), snímače tlaku paliva v Railu (12), pojistného ventilu (13), omezovače průtoku (14) a vstřikovače (15). Celá vysokotlaká část je propojena vysokotlakým potrubím (10). O celkovou funkci chodu motoru se stará řídicí jednotka (16). Viz. obr. 9 [3],[12].

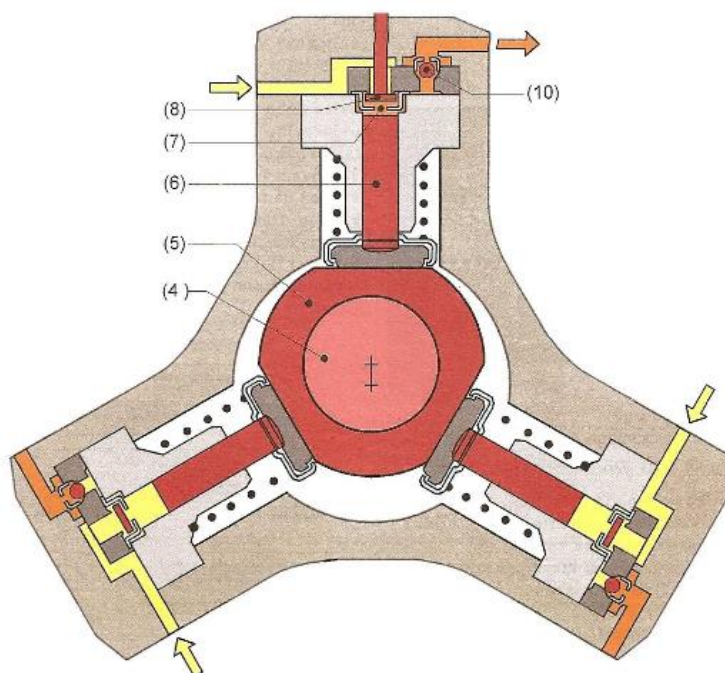
4.2.1 VYSOKOTLAKÉ PALIVOVÉ ČERPADLO

Vysokotlaké palivové čerpadlo kontinuálním způsobem pod určitým tlakem stlačuje a shromažďuje palivo ve vysokotlakém zásobníku paliva při všech zatíženích motoru a po celou dobu životnosti vozidla. Část nízkotlaká a vysokotlaká je rozdělena čerpadlem. Vysokotlaké čerpadlo se ve většině případů umísťuje na stejné místo v motoru jako běžná rotační vstřikovací čerpadla u jiných vstřikovacích systémů. Vysokotlaké čerpadlo může obsahovat regulační tlakový ventil. Ten je v závislosti na provedení palivového systému upevněn pomocí příruby buď k vysokotlakému čerpadlu nebo k vysokotlakému zásobníku. Čerpadlo obsahuje i rezervu paliva, která je určena ke snadnému a rychlejšímu startu motoru. Usnadňuje nárůst tlaku v zásobníku paliva nebo doplňuje palivo při jeho nečekané zvýšené spotřebě. Nejčastěji se používají radiální a řadová čerpadla. U radiálních čerpadel se třemi písty dochází k překrývání se pracovních zdvihů a nedochází tak k přerušení dodávky paliva a vzniká přebytek paliva při chodu na prázdnou nebo částečném zatížení. Nevyužité palivo je odváděno zpět do palivové nádrže přes regulační tlakový ventil. Proto při nízké potřebě paliva dojde k odpojení jedné z pístové jednotky, pomocí elektromagnetického ventilu, jehož kotva přes připojený čep trvale otevře sací ventil dané jednotky. Zhruba do 2/3 plného zatížení motoru pracuje pak čerpadlo pouze se dvěma pístovými jednotkami a palivo tak není dodáváno plynule, nýbrž s přestávkami. Kromě toho tato čerpadla vyžadují asi 1/9 maximálního točivého momentu potřebného pro pohon srovnatelného rotačního čerpadla a rovnoměrně zatěžují motor. Proto má systém Common Rail menší požadavky na pohon čerpadla než jiné vstřikovací systémy. Čerpadlo je poháněno klikovou hřídelí motoru skrz spojku, řetěz, ozubený řemen nebo ozubené kolo. Převod je proveden tak, aby otáčky nepřekročily 3000 min^{-1} . Čerpadla jsou mazána a chlazena samotným palivem nebo olejem. Čerpadla mazaná olejem mají lepší odolnost vůči horší kvalitě paliva, nežli čerpadla mazaná palivem [3],[12],[13],[14].



Obr. 13 Vysokotlaké palivové čerpadlo (podélný řez)[12]

- | | |
|--|---|
| (1) – přívod paliva | (2) – pojistný ventil se škrticím otvorem |
| (3) – nízkotlaký kanál k jednotce čerpadla | (4) – hnací hřídel čerpadla |
| (5) – výstředníková vačka | (6) – píst jednotky čerpadla |
| (7) – prostor ve válci jednotky čerpadla | (8) – sací ventil |
| (9) – odpojovací ventil jednotky čerpadla | (10) – výtlačný ventil |
| (11) – těsnicí vložka | (12) – vysokotlaká přípojka k Railu |
| (13) – regulátor tlaku paliva | (14) – kuličkový ventil |
| (15) – zpětný odvod paliva | |



Obr. 14 Vysokotlaké palivové čerpadlo (příčný řez)[12]

ZÁKLADNÍ PRINCIP ČINNOSTI VYSOKOTLAKÉHO ČERPADLA

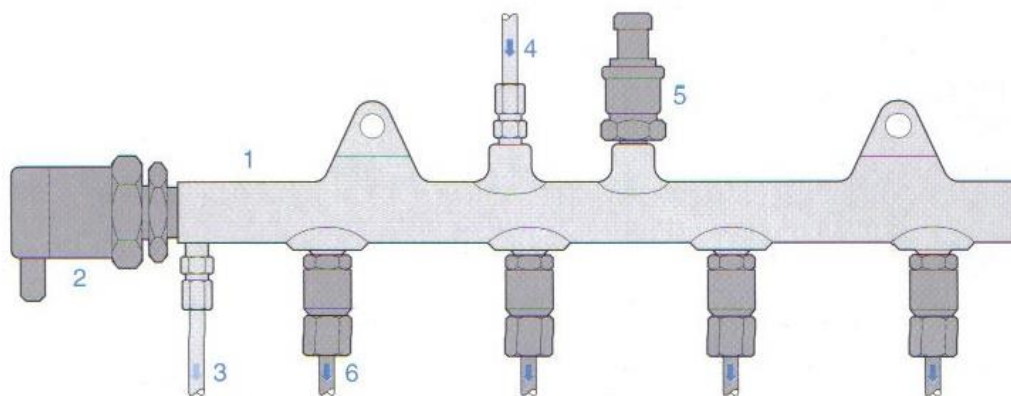
Palivo je vytlačováno pomocí dopravního čerpadla přes jemný čistič paliva až k pojistnému ventilu (2). Pojistný ventil se skládá z pístku s pružinou a ze škrtkového otvoru, kterým je palivo vytlačováno do chladicího a mazacího okruhu. Když tlak podávaného paliva překoná otevírací tlak pojistného ventilu (0,5 bar až 1,5 bar), dojde k otevření pojistného ventilu (2). Palivo je následně vytlačováno přes sací ventil (8) až do prostoru ve válci (7), jehož píst jednotky (6) se pohybuje do dolní úvratě (sací zdvih) a dochází k nasátí paliva. Následně dochází k výtlačnému zdvihu pístu (6), čímž dochází k uzavření sacího ventilu (8) vlivem tlaku paliva. Dochází k otevření výtlačného ventilu (10), přes který je palivo vytlačováno do zásobníku tlaku pomocí přípojky (12). Viz. obr. 13 [12].

4.2.2 VYSOKOTLAKÝ ZÁSOBNÍK (RAIL)



Obr. 15 Vysokotlaký zásobník [15]

Vysokotlaký zásobník může být zhotoven kováním nebo laserovým svářením oceli. Rail může vystupovat v podélném nebo sférickém tvaru v závislosti na konstrukci motoru a jeho umístění. Hlavním úkolem vysokotlakého zásobníku je akumulovat palivo pod vysokým tlakem. Svým objemem má také tlumit tlakové kmitání, ke kterému dochází pulzující dopravou paliva vysokotlakým čerpadlem do Railu a neustálým otvíráním a zavíráním vstřikovačů. Konstrukce tedy musí mít dostatečný objem k omezení kolísání tlaku a jeho udržení na přibližně konstantní hodnotě. Na druhou stranu je však Rail dostatečně malý na to, aby v něm došlo k rychlému nárůstu tlaku paliva, pro bezproblémový start a chod motoru. Jeho důležitým úkolem je i rozdělování paliva k jednotlivým vstřikovačům. K dosažení zásobníkového efektu se využívá stlačitelnost paliva při vysokém tlaku. Při odebrání většího množství paliva pak zůstává tlak téměř konstantní. Důležitým faktorem je tvar Railu. Jeho konstrukce by měla umožňovat jednoduchou montáž snímače tlaku nebo omezovacího tlakového ventilu, resp. regulačního tlakového ventilu [16],[17].



Obr. 16 Vysokotlaký zásobník systému Common Rail [3]

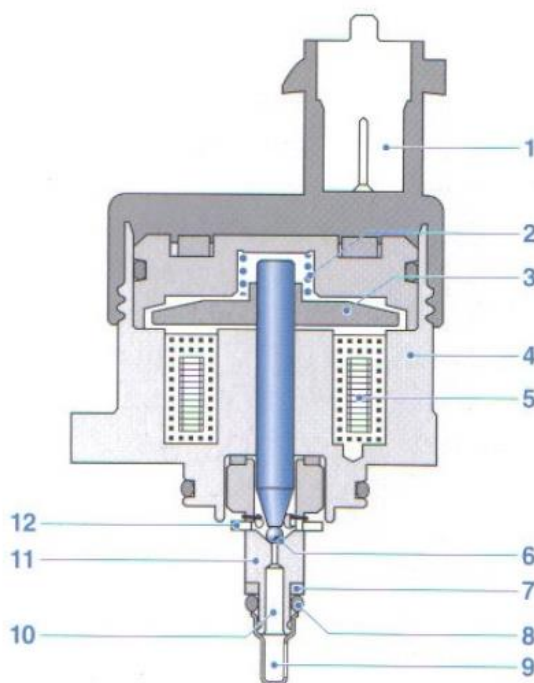
- | | |
|---|--|
| (1) – vysokotlaký zásobník(Rail) | (2) – regulační tlakový ventil |
| (3) – zpětný odvod paliva z Railu do nádrže | (4) – přívod od vysokotlakého čerpadla |
| (5) – snímač tlaku v Railu | (6) – vedení ke vstřikovači |

REGULAČNÍ TLAKOVÝ VENTIL

Úkolem regulačního tlakového ventilu je řídit a upravovat tlak v Railu v závislosti na zatížení motoru. V případě vysokého tlaku v Railu se ventil otevírá, aby určitou část přebytečného paliva odvedl přes zpětné palivové potrubí do palivové nádrže. V opačném případě, při poklesu tlaku, se ventil uzavře a slouží jako těsnící prvek mezi vysokotlakou a nízkotlakou částí [3].

Základní princip činnosti regulačního tlakového ventilu

Regulační tlakový ventil pracuje ve dvou režimech, buď je ventil aktivovaný, nebo ne. V případě že je režim neaktivní, není na elektromagnet přiváděno napětí a elektromagnet nevyvíjí žádnou sílu. Takže jedinou silou, která přitlačuje kuličku umístěnou v sedle, je síla pružiny. Tuhost pružiny odpovídá otvíracímu tlaku paliva, což je zhruba 100 bar. Když je třeba zvýšit tlak ve vysokotlakém okruhu, dojde k aktivaci ventilu. Na elektromagnet začne být přiváděno napětí a procházet jím proud. Ten začne spolu s pružinou působit na kotvu, a ta tlakem na kuličku uzavře ventil. Ventil je uzavřen tak dlouhou dobu, dokud mezi silou vysokého tlaku na jedné straně a silou elektromagnetu a pružiny na straně druhé nedojde k rovnováze. Poté je ventil otevřen tak, aby byl udržován konstantní tlak při měnícím se množství paliva dodávaného vysokotlakým čerpadlem a jeho odběrem pomocí vstřikovačů [16].

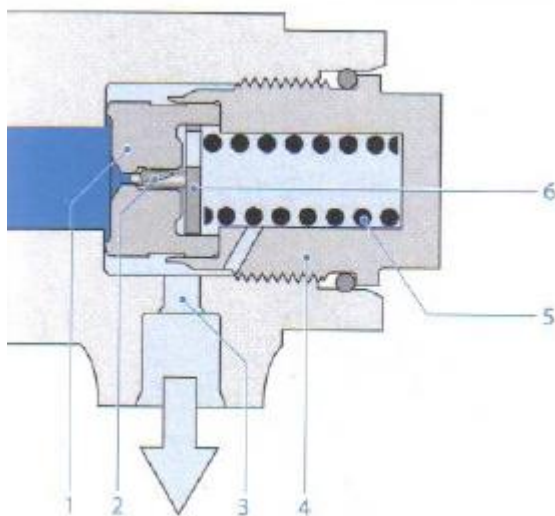


Obr. 17 Regulační tlakový ventil (řez)[3]

- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| (1) – elektrická přípojka | (2) – ventilová pružina |
| (3) – kotva | (4) – pouzdro ventilu |
| (5) – cívka elektromagnetu | (6) – kulička ventilu |
| (7) – opěrný kroužek | (8) – O-kroužek |
| (9) – filtr | (10) – přívod vysokého tlaku |
| (11) – těleso ventilu | (12) – výstup k nízkotlakému okruhu |

OMEZOVACÍ TLAKOVÝ VENTIL

Omezovací tlakový ventil pracuje na mechanickém principu a jeho hlavním úkolem je omezovat tlak v Railu na maximální povolenou hodnotu. V případě překročení maximální povolené hodnoty tlaku dojde k otevření ventilu. Palivo je přes ventil vytlačeno z Railu do zpětného potrubí a putuje do nádrže. Dojde tak ke snížení tlaku ve vysokotlakém zásobníku, a tím k zamezení destrukce zařízení vlivem vysokého nárůstu tlaku při funkční poruše. Omezovací ventil tak plní funkci přetlakového ventilu. U nejnovějších verzí je integrována funkce zpětného chodu, díky které je i v případě otevřeného vypouštěcího otvoru zachován určitý minimální tlak a je umožněna omezená jízda automobilu [16].



Obr. 18 Omezovací tlakový ventil (řez)[3]

(1) – vložka ventilu

(2) – píst ventilu

(3) – nízkotlaký okruh

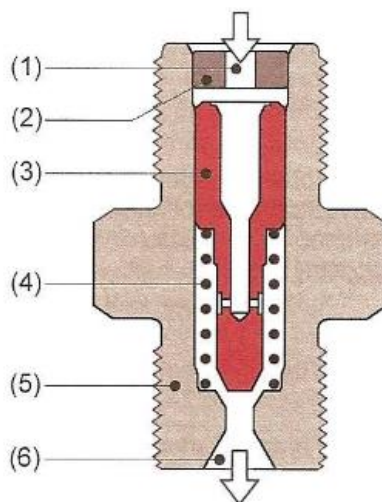
(4) – držák ventilu

(5) – tlačná pružina

(6) – talířová podložka

OMEZOVAČ PRŮTOKU

Omezovač je namontován na Railu a prochází jím palivo k vstřikovačům. Každý vstřikovač má vlastní omezovač, jehož úkolem je zabránit nepravděpodobnému případu trvalého vstřikování jednoho ze vstřikovačů vlivem poruchy. Aby omezovač průtoku tento úkol plnil, musí dojít k jeho uzavření v případě překročení maximálního odebraného množství paliva z Railu. Při vstřikování paliva dochází k poklesu tlaku na straně vstřikovače. Při normálním provozu je pokles tlaku krátký a po jeho ukončení se píst vrací do původní polohy vlivem působení pružiny. Pokud však tento pokles trvá příliš dlouho, dojde k překonání síly pružiny a zaražení pístu do sedla. Píst zůstává v této poloze až do zastavení chodu motoru. V případě malého úniku paliva dochází k návratu pístu, avšak ne až do rovnovážné polohy. Po určitém počtu vstřiku se pak píst dostane až do sedla [12],[16].



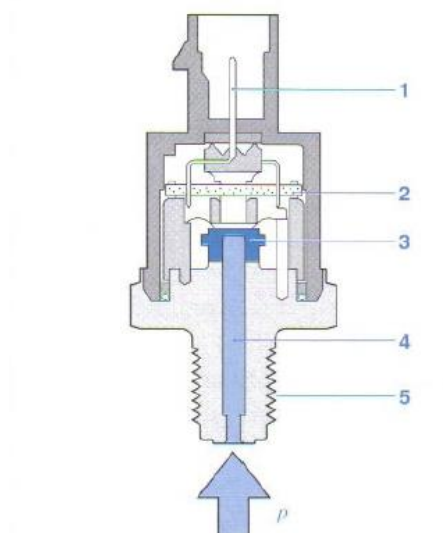
Obr. 19 Omezovač průtoku [12]

- | | |
|---------------------------------|--|
| (1) – připojení k Railu (vstup) | (2) – uzavírací vložka |
| (3) – píst | (4) – tlačná pružina |
| (5) – pouzdro | (6) – připojení k vstřikovači (výstup) |

SNÍMAČ TLAKU PALIVA V RAILU

Jeho hlavním úkolem je měřit v uspokojivém čase a s dostatečnou přesností okamžitý tlak paliva v zásobníku. V závislosti na hodnotě měřeného tlaku, generuje snímač napěťový signál odpovídající velikosti, který je poskytován a později vyhodnocován řídicí jednotkou [12],[16].

Hlavní částí snímače je membrána, na které je umístěn polovodičový prvek jako snímací člen. Člen obsahuje na membráně napařené elastické rezistory v můstkovém zapojení. Tlak paliva působí na membránu a dochází k jejímu prohnutí. Snímací člen mění deformaci na elektrický signál, který je následně zesílen ve vyhodnocovacím obvodu a předán do řídicí jednotky. Řídicí jednotka pak pomocí zaznamenaných charakteristik vypočítá tlak. Případné odchylky od předepsané hodnoty jsou vyrovnávány regulačním tlakovým ventilem. Tlak je téměř konstantní a není závislý na zatížení a otáčkách motoru [3],[16].



Obr. 20 Snímač tlaku [3]

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| (1) – elektrická přípojka (konektor) | (2) – vyhodnocovací obvod |
| (3) – membrána s napařenými rezistory | (4) – tlaková přípojka |
| (5) – upevňovací závit | |

4.2.3 VSTŘIKOVAČE

Vstřikovač je zodpovědný za určování počátku vstřiku a množství vstřikovaného paliva. Důležitým poznatkem je, že vytváření vstřikovacího tlaku není závislé na otáčkách motoru a množství vstřikovaného paliva. Množství vstřikovaného paliva je pak závislé na délce doby otevření trysky, a také na tlaku vstřikovacího systému. Vstřik paliva je řízen systémem úhel-čas elektronické regulace EDC. K určení přesného okamžiku vstřiku slouží dva snímače otáček. Jsou umístěny na klikové a vačkové hřídeli. Vstřikovače jsou připojeny k Railu pomocí krátkého palivového potrubí. Do hlavy válců jsou pak přednostně montovány pomocí upínacích prvků. Jejich vestavba do motoru závisí na provedení vstřikovacích trysek a dělíme ji na vestavbu přímou a šikmou. V současnosti existují tři druhy vstřikovačů, vstřikovače s elektromagnetickým ventilem, vstřikovače s piezoelektrickým členem a vstřikovače s násobičem tlaku [3],[12],[19].



Obr. 21 Vstřikovače různých firem [20]

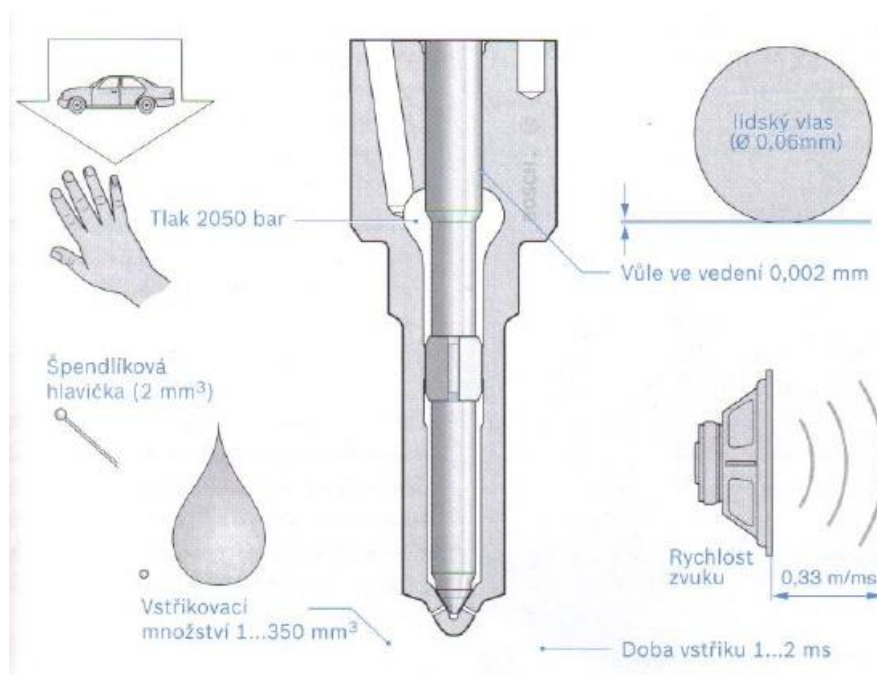
VSTŘIKOVACÍ OTVOROVÉ TRYSKY

Otvorové trysky se používají u systému přímého vstřikování. Jsou součástí vstřikovačů, které mají funkci držáku trysky. Jejich otvírací tlak se pohybuje mezi 150 až 350 bar. Pozice otvorových trysek závisí na konstrukci motoru. Důležitým konstrukčním faktorem je správný úhel, pod kterým má být tryska namontována. Ten musí být navržen tak, aby byla zajištěna správná orientace trysky ke spalovacímu prostoru [3].

Konstrukce otvorové trysky se podílí na:

- dávkování vstřiku (přesněji na době vstřiku a množství vstřikovaného paliva),
- přípravě paliva (počet a tvar paprsku paliva a jejich rozprášení),
- rozdělení paliva v spalovacím prostoru,
- utěsnění systému vůči spalovacímu prostoru [3].

Jelikož otvorové trysky ve značné míře ovlivňují emise motoru, jsou nároky na jejich výrobu, a především geometrii dosti vysoké. Trysky se vyrábějí speciálními technologickými postupy, jako je například hydroerozivní obrábění a elektrochemické obrábění (tímto způsobem se vytváří například tlaková komora trysky), nebo pomocí laseru. Pro přiblížení a představu, jak velká přesnost je požadována při výrobě obvodových trysek pak slouží obr. 22. Důležitým faktorem u trysek je také jejich teplotní ochrana. Teplotní hranice horní odolnosti se pohybuje okolo 300 °C, avšak pro náročnější případy existují ochranná pouzdra nebo chlazené trysky např. u velkých motorů [3].



Obr. 22 Dimenze techniky vstřikování u vznětových motorů [3]

Geometrické části trysky, které mají vliv na škodlivé emise motoru, jsou [3]:

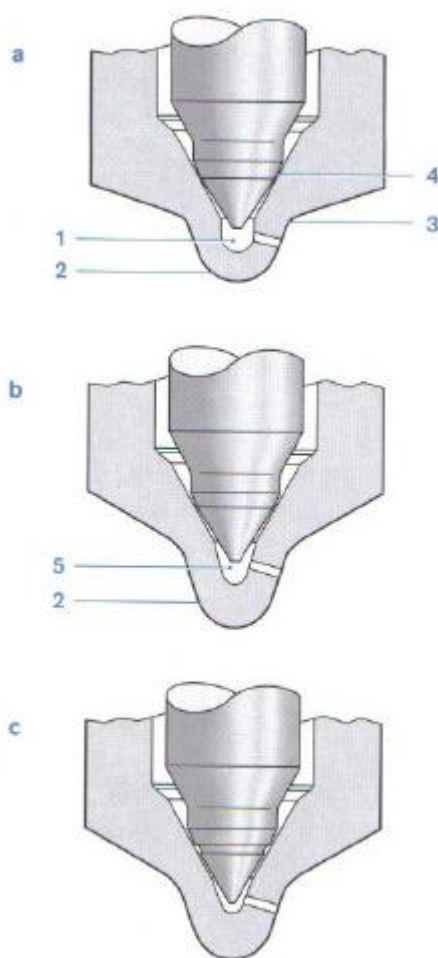
- **geometrie vstřikovacího otvoru**
 - ovlivňuje tvorbu pevných částic (sazí) a NOx
- **geometrie sedla**
 - je zodpovědná za ovlivňování hluku motoru (působení na pilotní množství)
- **geometrie slepého vývrtnu**
 - kde je hlavní ovlivňovanou částí tvorba emisí uhlovodíků (HC)

Běžně trysky obsahují až 6 vstřikovacích otvorů, výjimkou jsou však větší nákladní automobily, které jich můžou mít dokonce 10. Inovací jsou trysky s větším množstvím vstřikovacích otvorů, které mají menší průměr, čímž se zaručí jemnější a lepší rozdělení paliva [3].

Rozdělení otvorových trysek

- Trysky se slepým vývrtem

U těchto trysek jsou vstřikovací otvory umístěny po obvodu slepého otvoru. Vstřikovací otvory se vyrábí elektroerozivně nebo mechanickým způsobem. Vyrábí se ve variantách s válcovým a kuželovým slepým vývrtem nebo slepým mikrovývrtem. Objem slepého mikrovývrtnu je na rozdíl od předchozích o 30 % menší. Tato tryska je v dnešní době nejlepší variantou u systému Common Rail, protože pracuje s relativně pomalým pohybem jehly, čímž dochází v místě sedla k dlouhému škrcení při otevírání. Další výhodou, proč je tryska s mikrovývrtem využívána právě pro systém Common Rail, je ten, že má nejmenší zbytkový obsah a rovnoměrné rozdělení paprsku při otvírání [3].



Obr. 23 Hroty trysek se slepým vývrtem [3]

a – válcový slepý vývrt a kuželový hrot

b – kuželový slepý vývrt a kuželový hrot

c – slepý mikrovývrt

(1) – válcový slepý vývrt

(2) – kuželový hrot

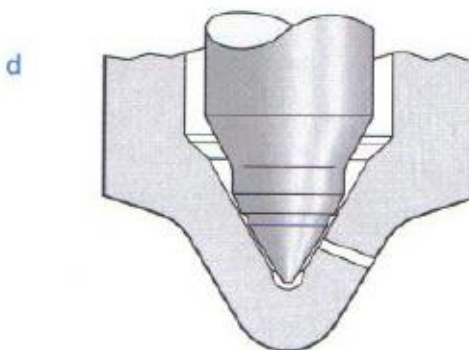
(3) – poloměr sedla

(4) – dosedací plocha tělesa trysky

(5) – kuželový slepý vývrt

- Trysky s otvory do sedla

Vystřikovací otvory jsou zde umístěny po obvodu v místě sedla tělesa trysky. Otvor je při uzavřené trysce zcela zakryt jehlou trysky, a tak není možnost přímého propojení mezi slepým vývrtem a spalovacím prostorem. U trysky s otvory do sedla je objem slepého vývrtnu menší než u trysek se slepým vývrtem. Tyto trysky mají však nižší hranici zatížení, a proto musí být vyráběny s maximální délkou otvoru 1 mm. Otvory se vyrábějí elektroerozivně [3].



Obr. 24 d – hrot trysky s otvory do sedla [3]

Dále můžeme dělit trysky podle jejich velikosti:

- typ P-průměr jehly 4 mm (oba druhy – se slepým vývrtem, s otvory do sedla),
- typ S-průměr jehly 5 a 6 mm (pouze trysky se slepým vývrtem pro velké motory) [3].

4.2.4 REGULACE VYSOKÉHO TLAKU V SYSTÉMU COMMON RAIL

V systému Common Rail je regulace tlaku prováděna rozdílnými způsoby v závislosti podle použití systému [3].

REGULACE MNOŽSTVÍ NA STRANĚ SÁNÍ

Tlak paliva je možno regulovat pomocí dávkovací jednotky v nízkotlaké části. Ta je uchycena přírubou na sací straně vysokotlakého čerpadla. Dávkovací jednotka zabezpečuje dodání takového množství paliva, které zaručí příslušný tlak odpovídající aktuálním podmínkám. Hlavní výhodou této regulace je, že vysokotlaké čerpadlo vytváří jen takový tlak, který je potřebný pro aktuální provozní režim. Regulací pomocí dávkovací jednotky je objem paliva stlačeného vysokým tlakem menší, což má pozitivní vliv na snížení spotřeby energie čerpadla, menší ohřev paliva a pokles spotřeby paliva. Nevýhodou však je pomalejší regulace vysokého tlaku při rapidních změnách zatížení motoru. Využívá se u osobních i nákladních vozidel [3],[21].

REGULACE NA STRANĚ VYSOKÉHO TLAKU

Další možností, jak upravovat tlak paliva, je využití regulačního tlakového ventilu. Nachází se ve vysokotlaké části na Railu nebo může být součástí vysokotlakého čerpadla. Hlavní funkcí ventilu je přepouštět přebytečné palivo zpět přes zpětné potrubí do nádrže, čímž je regulován

tlak. Výhodou je možnost rychlého přizpůsobení tlaku i v případě změn zatížení motoru oproti regulaci na sací straně čerpadla. Bohužel u tohoto způsobu regulace vysokotlaké čerpadlo stále dodává maximální množství paliva nezávisle na aktuální potřebě motoru, což se projeví na zvýšení spotřeby energie [3],[21].

KOMBINOVANÁ REGULACE TLAKU

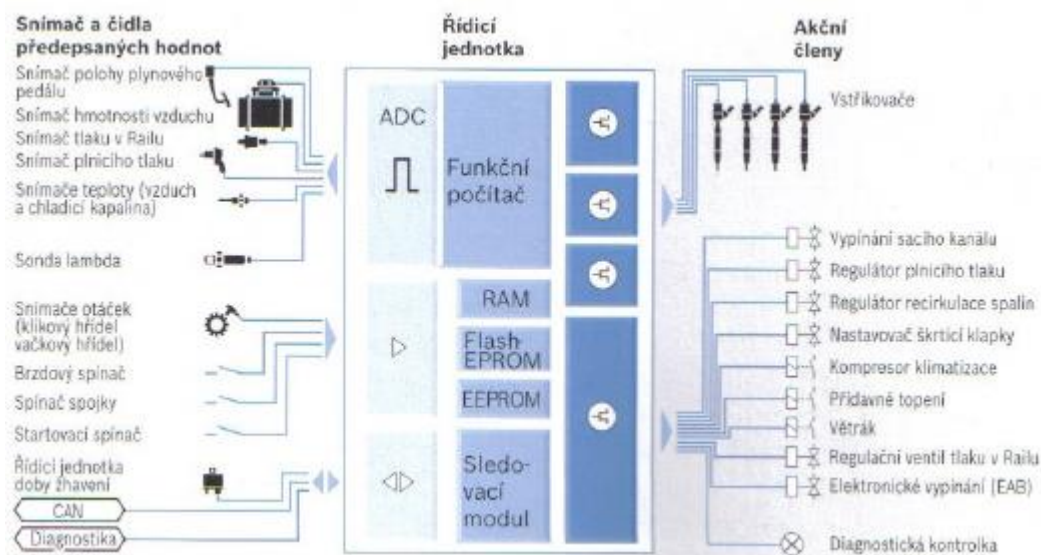
Spojuje oba předchozí typy regulace dohromady a zaručuje tak kombinaci jejich výhod [21].

4.3 ELEKTRONICKÁ REGULACE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ EDC

Elektronická regulace vznětových motorů umožňuje přesné a diferencované modelování vstřikovacích veličin. V dnešní době se kladou zvýšené nároky na komfort z jízdy. Díky pokročilému rozvoji mikroprocesorů je však EDC schopno splnit všechny tyto požadavky a zpracovávat velké množství dat v reálném čase. U systému EDC množství vstřikovaného paliva nezávisí přímo na řidiči, ale je určováno ovlivňujícími veličinami, jako je stlačení pedálu, provozní stav motoru a jeho teplota. EDC je také schopno vyměňovat si data s jinými elektronickými systémy, a to například s EGS, ASR a ESP. Každé vozidlo a motor musí mít přesně na míru přizpůsobený systém elektronické regulace EDC, aby mohly všechny jeho komponenty správně spolupracovat [3].

EDC se dělí na 3 systémové bloky:

- snímače a čidla,
- řídicí jednotka,
- akční (ovládací) členy [12].



Obr. 25 Systémové bloky EDC [3]

4.3.1 SNÍMAČE A ČIDLA

Slouží k snímání aktuálních provozních podmínek a zachycení vyžadovaných hodnot. Zjištěné fyzikální veličiny potom snímače přetvářejí na elektrické signály [3],[12].

SNÍMAČ POLOHY A OTÁČEK KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Jedná se o jeden indukční snímač umístěný na klikové hřídeli. Jeho hlavním úkolem je poskytnutí informací o poloze pístů. Tato informace je velmi podstatná k určení správného momentu vstřiku paliva [12].

SNÍMAČ POLOHY A OTÁČEK VAČKOVÉHO HŘÍDELE

Pro tyto účely se zpravidla používá Hallův snímač. Slouží k určení, zda se píst pohybující se směrem k horní úvrati nachází v kompresním nebo výfukovém zdvihu. Tento snímač je vyžadován zpravidla v případě startování motoru, protože v tomto případě nemusí být snímač klikového hřídele schopen zaručit informace o poloze pístů [12].

SNÍMAČ PLNICÍHO TLAKU

Snímá tlak vzduchu nasávaného do plnicího potrubí. Měřený absolutní tlak se pohybuje v rozsahu 50 kPa až 300 kPa. Skládá se ze dvou základních komponent, snímací části a vyhodnocovacího hybridního obvodu [12].

MĚŘIČ MNOŽSTVÍ NASÁVANÉHO VZDUCHU

Slouží k měření hmotnosti nasávaného vzduchu do válců motoru. Je důležitý k dodržení emisních limitů. Má za úkol stanovit přesný směšovací poměr vzduchu s palivem [12].

SNÍMAČ TEPLITY

Využívají se NTC snímače, tzn. polovodičové odporové snímače s negativní charakteristikou. U těchto snímačů dochází ke snižování elektrického odporu s rostoucí teplotou [12].

Nacházejí se ve více místech palivového systému:

- **snímač teploty plnicího vzduchu** – nachází se v plnicím potrubí,
- **snímač teploty motoru** – je umístěn v chladicím okruhu. Teplota motoru se určuje z chladicí kapaliny,
- **snímač teploty motorového oleje** – umístěn v mazacím systému [12].

SNÍMAČ PLYNOVÉHO PEDÁLU

Snímá dráhu, případně úhel natočení pedálu. Naměřené hodnoty pak předává formou elektronického signálu řídicí jednotce. Součástí snímače je potenciometr, na kterém se v závislosti na poloze plynového pedálu nastavuje napětí. Řídicí jednotka potom přepočítává napětí, pomocí uložených charakteristik snímače, na dráhu pedálu, nebo na úhlovou polohu jeho hřídele [22].

SNÍMAČ RYCHLOSTI JÍZDY

Snímač je umístěn na převodovce. Jeho hlavní funkcí je snímání rychlosti vozidla. Naměřené informace pak posílá formou signálu do řídicí jednotky. Jejím úkolem je určení rychlosti vozidla, zařazeného převodového stupně a také volnoběžných otáček během jízdy. Také je zodpovědná za optimalizaci akcelerace a omezení trhavého chodu motoru [23].

4.3.2 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA

Zpracovává informace získané ze snímačů a čidel pomocí přesně určených matematických postupů využívajících regulačních a řídicích algoritmů. Elektrickými výstupními signály řídí činnost akčních členů [3].



Obr. 26 Řídicí jednotka Bosch EDC 7 [24]

4.3.3 AKČNÍ (OVLÁDACÍ) ČLENY

Ovládací členy zodpovídají za přetransformování výstupních elektrických signálů řídicí jednotky na mechanické veličiny [12].

VSTŘIKOVAČE

Hlavní úlohou vstřikovačů je určení správného počátku vstřiku a množství paliva vstřikovaného do válců. Detailnější popis vstřikovačů viz kapitola 4.2.3 [12].

REGULÁTOR TLAKU PALIVA

Slouží k regulaci tlaku ve vysokotlakém zásobníku. Regulátor je řízen pomocí řídicí jednotky. Více viz kapitola 4.2.2 [12].

NASTAVOVAČ ŠKRTICÍ KLAPKY

Úkolem klapky je řídit množství vzduchu proudícího do motoru. Existují dva druhy klapek, novější elektronicky řízené pomocí servomotoru a starší mechanické klapky ovládané pomocí lanka přes pedál plynu. U vznětových motorů je důležitou funkcí klapky zvýšení podílu recirkulace spalín pomocí snižování přetlaku v plnicím potrubí [12],[25].

ELEKTROPNEUMATICKÉ PŘEVODNÍKY

Elektropneumatické převodníky jsou klapky nebo ventily, které jsou ovládány mechanicko-pneumaticky čili na principu využívání podtlaku nebo přetlaku. Na stejném principu fungují také ventily nebo klapky recirkulace plnicího tlaku a recirkulace výfukových plynů [12].

OVLÁDACÍ JEDNOTKA ŽHAVENÍ

Jednotka žhavení je využívána pro zahřátí spalovacího prostoru studeného motoru. K tomuto účelu slouží žhavicí svíčky. Ty mají za úkol dodat do spalovacího prostoru dostatečné množství tepla. Díky nim jsou zaručeny příznivé podmínky pro rychlé a dokonalé spalování a snadný start motoru [26],[27].

4.3.4 DIAGNOSTIKA

Obecně diagnostika slouží k vyhledávání závad na vozidle nebo k úpravě nastavení problémového zařízení. Diagnostika se dělí na palubní (vnitřní) a servisní (vnější) [3],[28].

PALUBNÍ DIAGNOSTIKA (SLEDOVÁNÍ SYSTÉMU PŘI JÍZDĚ)

Je umístěna v řídicí jednotce a patří k základním funkcím elektronických systému řízení motoru. Pojmem palubní diagnostika rozumíme schopnost řídicí jednotky rozpoznávat vzniklé závady, ukládat je a následně provádět diagnostické vyhodnocování. Palubní diagnostika nevyužívá žádné další přídavné přístroje. Uložené informace o závadách je pak schopna načítat pomocí sériového rozhraní. Většinu závad je možno opravit již během jízdy za podmínky, že cesta signálu je po určitou dobu rozpoznávána bez závad. Vytvořená standardizovaná palubní diagnostika OBD má za účel dodržovat emisní limity. V roce 1988 byl zaveden první stupeň diagnostické legislativy OBD I a o 8 let později pak druhý OBD II. EOBD je norma, která byla přizpůsobena evropským podmínkám [3],[28].

SERVISNÍ DIAGNOSTIKA

Provádí se v servisu a jejím hlavním účelem je rychlá a bezpečná identifikace závad (akčních členů, snímačů atd.). Umožňuje pomocí externího přístroje komunikovat s pamětí palubní diagnostiky a interpretovat ho pro lidi v srozumitelné formě. Díky tomu jsme pak schopni vyčíst nebo pozměnit její obsah. Diagnostika v servise je podporována systémem ESI. Systém ESI obsahuje pro mnoho problému a závad velké množství návodů k dalšímu vyhledávání závad [3],[28].

Součástí servisní diagnostiky je:

- **Načtení paměti závad**
Z té získáme informace jako: závada funkce, kód závady a podmínky prostředí [28].
- **Diagnostika akčních členů**
Provádí se na stojícím voze, když je motor v klidu nebo má stanovené otáčky. Zodpovídá za ní řídicí jednotka. Akční členy jsou postupně aktivovány a zjišťuje se jejich správnost funkce [28].
- **Servisní diagnostické funkce**
Podpůrnými funkcemi v řídicí jednotce jsme schopni zjistit i závady, které palubní diagnostika nebyla schopna rozpoznat. Tyto funkce jsou řízené diagnostickým testerem [28].

5 VÝVOJ GENERACÍ

Roku 1997 Robert Bosch vyrobil a uvedl na trh první systém Common Rail. Od té doby se tento systém vstřikování začal velmi rychle rozvíjet a vylepšovat. Stal se velice populárním a rostlo množství firem zabývajících se jeho výrobou. Jeho hlavní výhodou bylo neustále zvyšování tlaku v zásobníku tlaku během vývoje, což vedlo k lepšímu rozprášení paliva a dokonalejšímu spalování. Důsledkem byla vyšší účinnost motoru, výkonu motoru a točivého momentu. Dalším aspektem byla také nižší spotřeba a hladší chod motoru a nižší hluchnost. Díky systému Common Rail došlo ke snížení vzniku škodlivých emisí.

Mezi nejvýznamnější firmy vyrábějící tento systém patří Denso, Delphi, Continental (Siemens), Liebherr a zejména pak firma Bosch, která je bez pochyby nejrozšířenější firmou zabývající se systémem vstřikování Common Rail. Systémy vstřikování Common Rail různých firem se mohou měnit z hlediska konstrukčního a výkonného, ale jejich podstata zůstává stále stejná [13].

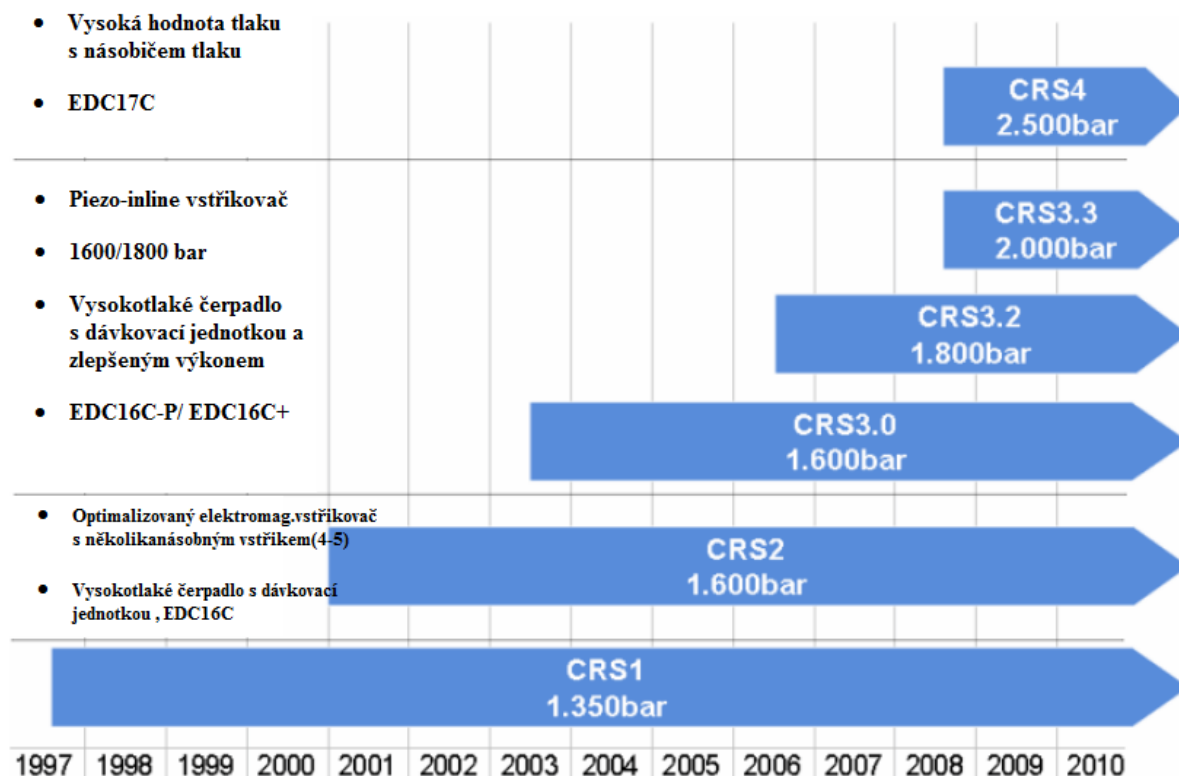
5.1 BOSCH

Firma Bosch je v dnešní době jednou z největších firem zabývajících se vývojem systému přímého vstřikování Common Rail. Její produkty jsou přizpůsobeny pro velký rozsah využití, a to od osobních vozidel až po těžká užitková vozidla. Firma Bosch rozděluje systém Common Rail do dvou základních skupin. První skupina, která určena zejména pro osobní vozidla a lehká užitková vozidla (dodávky), je označována zkratkou „CRS“. Naopak druhá skupina je zaměřena na střední a těžká užitková vozidla a je označována „CRSN“.

Tab. 1 Přehled generací firmy Bosch [3],[29],[30],[31],[32],[33],[34],[35],[36]

Generace CR	Maximální tlak	Vstřikovač	Vysokotlaké čerpadlo
1. Generace Osobní vozidla	1600 bar	s elektromagnetickým ventilem	CP1 s regulací tlaku na straně vysokého tlaku s regulačním tlakovým ventilem
1. Generace Užitková vozidla	1600 bar	s elektromagnetickým ventilem	CP2 regulace množství na straně sání s dvěma elektromagnetickými ventily
2. Generace Osobní a užitková vozidla	2500 bar	s elektromagnetickým ventilem	CP3, CP1H, CP4 regulace množství na straně sání s dávkovací jednotkou
3. Generace Osobní vozidla	2700 bar	piezoelektrický	CP1H, CP3, CP4 regulace množství na straně sání s dávkovací jednotkou (elektrický nasávací ventil)
3. Generace Užitková vozidla	2500 bar	s elektromagnetickým ventilem	CP3.3NH (škrťací ventil) CP4 (dávkovací jednotka) CPN5
4. Generace Osobní vozidla	systému do 1350 bar; vstřikování až 2500 bar	elektromagnetický s násobičem tlaku	CP4 regulace množství na straně sání s dávkovací jednotkou
4. Generace Užitková vozidla	systému do 1200 bar; vstřikování až 2500 bar	dva elektromagnetické ventily, jeden jako násobič tlaku	CPN5

5.1.1 GENERACE BOSCH PRO OSOBNÍ VOZIDLA



Obr. 27 Přehled systému Common Rail Bosch pro osobní vozidla [37]

PRVNÍ GENERACE

První generace systému Common Rail firmy Bosch byla předvedena v roce 1997. Obsahovala elektromagnetický vstříkovač se vstříkovacím tlakem 1350 bar. U této generace byl tlak řízen pomocí regulačního tlakového ventilu. Vstříkování se skládalo ze dvou fází. První fází byl předvstřík, který sloužil k předehtí spalovacího prostoru. Druhou fází byl pak hlavní vstřík paliva. První generace využívala čerpadla CP1. Tento systém byl zaveden poprvé u značek Alfa Romeo a Mercedes-Benz [4],[38].

Později se objevil systém CRS1-16 s tlakem 1600 bar, který byl určen zejména pro levná osobní a lehká užitková vozidla pro čínský trh. Tento systém používal elektromagnetické vstříkovače CRI1-16 pro maximálně 3 vstříky v jednom cyklu. V závislosti na počtu válců pak tento systém využíval vysokotlaké čerpadlo CB08-16/1 pro 2 a 3 válcové motory nebo CB18-16/2 pro 4 válcové motory. V případě nutnosti většího výkonu bylo určeno čerpadlo CP1H-16/3. Za kontrolu systému byla zodpovědná řídicí jednotka EDC 17 [29].

Nejnovějším předvedeným systémem je CRS1-14UP, který je určen pro indický trh. U něj se vyšplhal tlak na 1450 bar. Systém je určen pro levná osobní vozidla a lehká užitková vozidla s počtem do 2 nebo 4 válců. Vstříkovač je určen stejně jako předchozí systém pro maximálně 3 vstříky v jednom cyklu. Využívá čerpadlo PF51-16 [39].

- **Elektromagnetický vstřikovač**

Vstřikovač můžeme rozdělit na 3 funkční bloky:

- otvorová tryska,
- hydraulický servosystém,
- elektromagnetický ventil [34].

Funkci elektromagnetického vstřikovače lze rozdělit na 4 provozní stavy:

- vstřikovač uzavřen (vlivem vysokého tlaku),
- vstřikovač se otevírá (začátek vstřiku),
- vstřikovač zcela otevřen,
- vstřikovač se zavírá (konec vstřiku) [34].

Základní princip činnosti elektromagnetického vstřikovače

➤ Vstřikovač uzavřen

Vstřikovač je uzavřen a není aktivován. Dochází k přitlačení kuličky ventilu do sedla škrcení na odpadu díky vinuté pružině ventilu. Tlak v řídicím prostoru ventilu vzroste až na hodnotu totožnou tlaku ve vysokotlakém zásobníku paliva. Stejný tlak pak následně začne působit v objemu komory trysky. Tlaková síla působící na čelní plochu řídicího pístu a síla přitlačné pružiny trysky drží jehlu trysky v uzavřené poloze. Tyto dvě síly působí proti otevírací síle, která účinkuje na tlačné mezikruží [12],[34].

➤ Vstřikovač otvírá

Dochází k aktivaci elektromagnetického ventilu přitahovacím (otevíracím) proudem. Tento proud nabývá hodnot asi 20 A a slouží k rychlému otevření elektromagnetického ventilu. Síla elektromagnetu vzroste a převýší sílu pružiny ventilu. Následně dojde k nadzvednutí kotvy s kuličkou ze sedla ventilu. Následkem toho dojde současně k otevření škrcení na odpadu. Pak je otevírací proud v co nejkratší době snížen na proud udržovací, jehož hodnota je cca 13 A. Následkem otevření škrcení na odpadu je schopno palivo odtéci z řídicího prostoru ventilu do prázdného prostoru umístěného pod ním a později do nádrže zpětným palivovým potrubím. Vzhledem k tomu, že škrcení na přívodu nedovoluje úplné vyrovnání tlaku, dojde k poklesu tlaku v řídicím prostoru ventilu. Pak je tlak v řídicím prostoru menší než tlak v objemu komory trysky. Objem trysky má totiž stále tlak stejný jako vysokotlaký zásobník. Účinkem snížení tlaku v řídicím prostoru dojde k poklesu síly na píst. To vede k otevření jehly trysky a začíná průběh vstřikování. Rychlost otevření jehly pak závisí na rozdílu průtoku mezi škrcením na přívodu a odpadu. Množství paliva, vstříknutého při určitém tlaku do spalovacího prostoru, je úměrné době zapnutí elektromagnetického ventilu a není závislé na otáčkách motoru [12],[34].

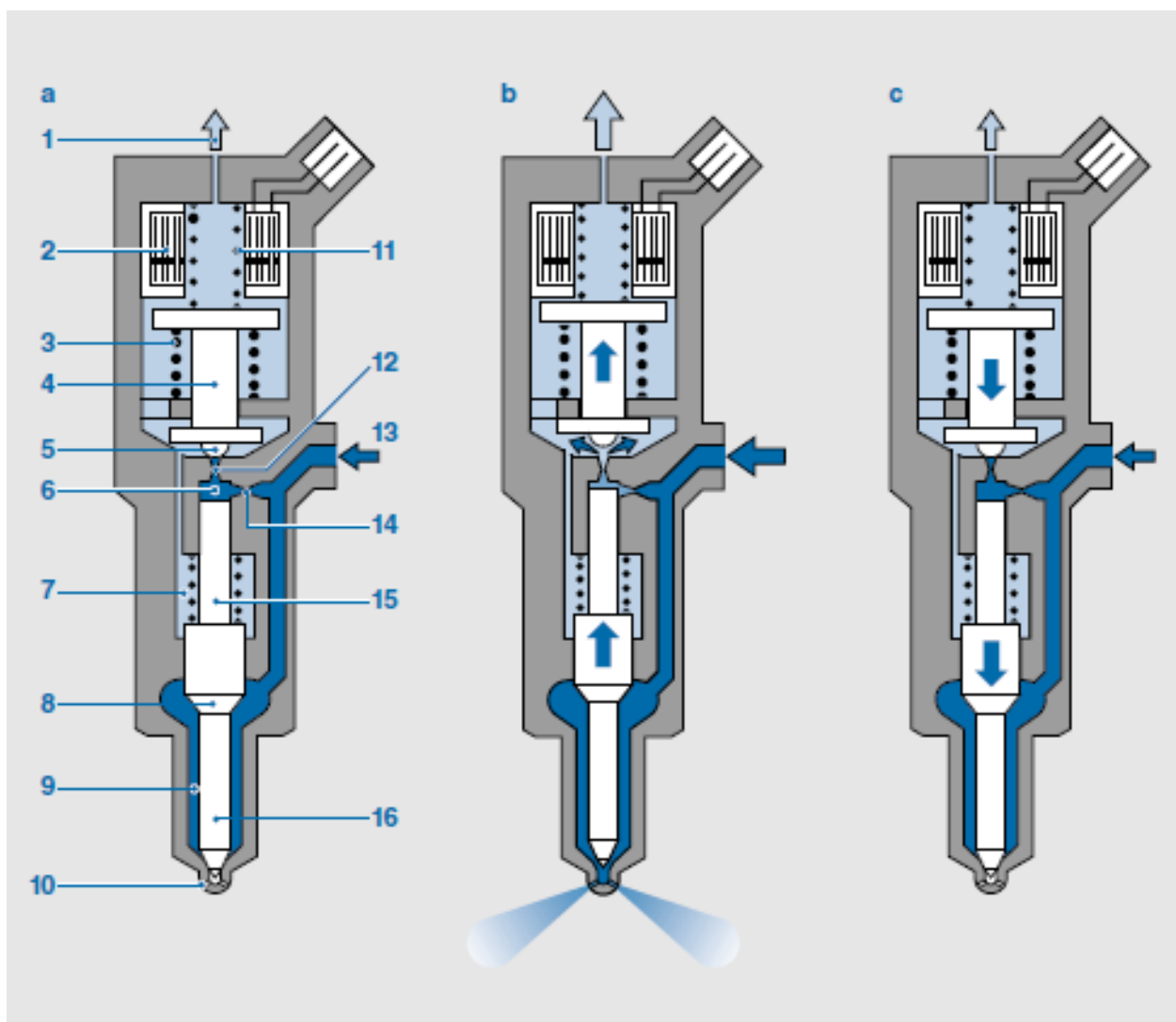
➤ Vstřikovač zavírá

Když je elektromagnetický ventil neaktivovaný neprochází elektromagnetickým vinutím proud a kotva je tlačena pomocí ventilové pružiny dolů. Kulička ventilu tím uzavře škrcení na odpadu. Palivo přitéká přes škrcení na přívodu do řídicího prostoru. V řídicím prostoru dochází k vzniku tlaku rovnajícímu se tlaku v Railu. Tento tlak dále působí silou na řídicí píst.

Síla vzniklá v řídicím prostoru a síla pružiny trysky vzroste na takovou hodnotu, že překročí velikost síly na jehle trysky. Tak dojde k uzavření jehly a ukončení vstřikování. Rychlost, s jakou je tryska uzavřena, je závislá na průtoku paliva škrcením na přívodu viz obr. 29 [12],[34].



Obr. 28 Elektromagnetický (v levo) a piezoelektrický vstřikovač (v pravo) [40]



Obr. 29 Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem [11]

a – klidový stav

b – vstřikovač otvírá

c – vstřikovač zavírá

(1) – zpětné palivové potrubí

(2) – cívka elektromagnetu

(3) – pružina přeběhu

(4) – kotva

(5) – kulička ventilu

(6) – řídicí prostor ventilu

(7) – pružina trysky

(8) – tlačné mezikruží jehly trysky

(9) – objem komory

(10) – vstřikovací otvor

(11) – pružina elektromagnetického ventilu

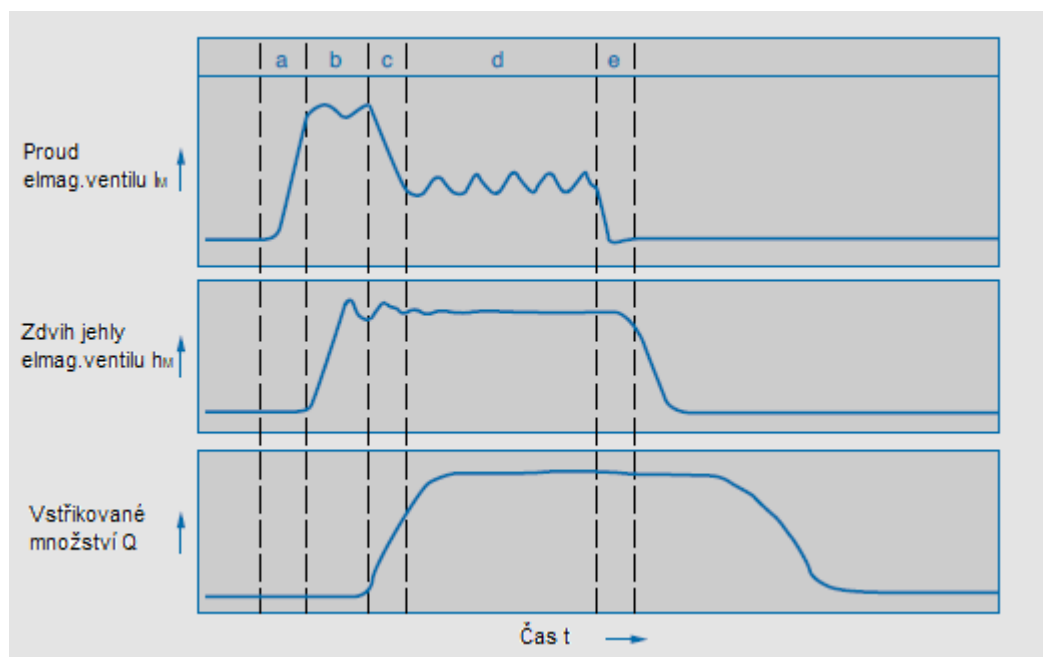
(12) – škrcení na odpadu

(13) – vysokotlaká přípojka

(14) – škrcení na přívodu

(15) – píst ventilu (řídicí píst)

(16) – jehla trysky



Obr. 30 Postup aktivace elektromagnetického ventilu při jednom vstřiku [11]

a – fáze otvírání

b – fáze přitahovacího (otvíracího) proudu

c – přechod k fázi udržovacího proudu

d – fáze udržovacího proudu

e – vypnutí

Vysokotlaké čerpadlo CP1

Jedná se o tři pístové čerpadlo, jehož písty jsou radiálně uloženy pod úhlem 120° vůči hnací hřídeli. Podávací čerpadlo, elektrické nebo mechanické (zubové), dodává přes filtr palivo do vysokotlakého čerpadla. V případě osobních automobilů je podávací čerpadlo zubové a je uchyceno pomocí příruby k vysokotlakému čerpadlu. Přívod paliva se tak nachází uvnitř vysokotlakého čerpadla. Množství paliva dodávaného čerpadlem je úměrné jeho otáčkám. Otáčky čerpadla však nejsou závislé na otáčkách motoru. Převodový poměr čerpadla je 1:2 nebo 2:3 vztaženo k otáčkám klikové hřídele [3],[4],[42].



Obr. 31 Průřez vysokotlakým čerpadlem CP1 [42]

DRUHÁ GENERACE

Obr. 32 Systém Common Rail druhé generace s vysokotlakým čerpadlem CP3 a vstřikovačem CRI2 [42]

Druhá generace byla zavedena v roce 2001. Stále obsahovala elektromagnetický vstřikovač, ale došlo k vzrůstu vstřikovaného tlaku až na 1600 bar. Podstatným rozdílem oproti předchozí generaci bylo zvýšení počtu předvstřiků na dva a dále přidání tzv. dovstřiku při vstřikování. Ten měl doladit dávku paliva a způsobit vylepšení a zpřesnění dávkování paliva. Předvstřík byl zodpovědný za snížení hlučnosti během spalovacího procesu a emisí NO_x a dovstřík měl redukovat emise pevných částic. Došlo ke změně regulace tlaku pomocí dávkovací jednotky. Pro tuto generaci byla využívána čerpadla CP1H a CP3 a CP4. Při použití vysokotlakého čerpadla CP1H vzrostl tlak na 1450 bar, čerpadla CP3 na 1600 bar a u vysokotlakého čerpadla CP3H až na maximální hodnotu 1800 bar [4],[42].

Vznikly systémy jako CRS2-16 s maximálním tlakem 1600 bar určené pro osobní a lehká užitková vozidla s počtem válců od 2 do 6. Později CRS2-18 s 1800 bar, CRS2-20 s 2000 bar a CRS2-22 s 2200 bar. Umožňovaly až 8 vstřiků v jednom cyklu. U novějších systémů CRS2-20/-22 byla poprvé ve vstřikovači využita integrovaná vysokotlaká komora, která vyrovnávala výkyvy tlaku. Systémy splňovaly emisní normy od EURO 4 až po EURO 6 [43].

Jako nejnovější systém byl představen systém CRS2-25, jenž dosahoval tlaku až 2500 bar. Ten umožňoval využití vysokotlakého čerpadla CP4-25 s různými druhy mazání. Jedním z plusů tohoto vysokotlakého čerpadla bylo zvýšení hydraulické účinnosti díky využití elektrického sacího ventilu. Ideální bylo také pro funkci start/stop. Jednou z nejvýznamnějších výhod tohoto systému byla možnost využití při stále se rozvíjícím downsizingu a splnění emisní legislativy EURO6 ff a rovnocenných norem [31].

Vysokotlaké čerpadlo CP1H

Jedná se o modifikaci vysokotlakého čerpadla CP1. Na rozdíl od něj totiž k regulaci množství dochází pomocí dávkovací jednotky. Čerpadlo CP1H je schopno vytvářet maximální tlak do 1800 bar [3],[41].



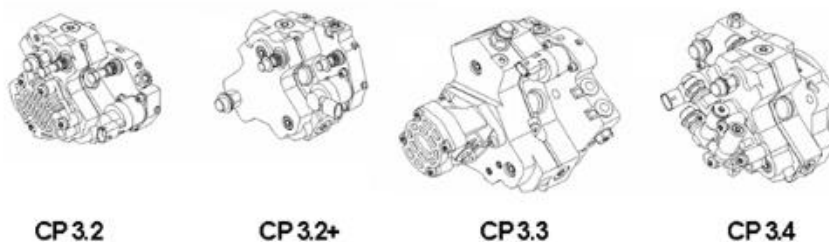
Obr. 33 Vysokotlaké čerpadlo CP1H [42]

Vysokotlaké čerpadlo CP3

Jedná se o první čerpadlo, u kterého byla použita dávkovací jednotka. Čerpadlo CP3 má monoblokovou konstrukci, a proto má menší počet těsněných míst. Je tak schopno zaručit dodání většího množství paliva. Další výhodou je použití talířových zdvihátek, které přenášejí sílu vznikající od vačky výstředníku a nedochází tak k přímému zatížení pístu, což umožní vyšší tlaky až 1800 bar. V praxi se vysokotlaká čerpadla CP3 a jejich různá provedení využívají jak u osobních, tak u užitkových vozidel [3].



Obr. 34 Vysokotlaké čerpadlo CP3 [4]



Obr. 35 Modifikace vysokotlakého čerpadla CP3 [41]

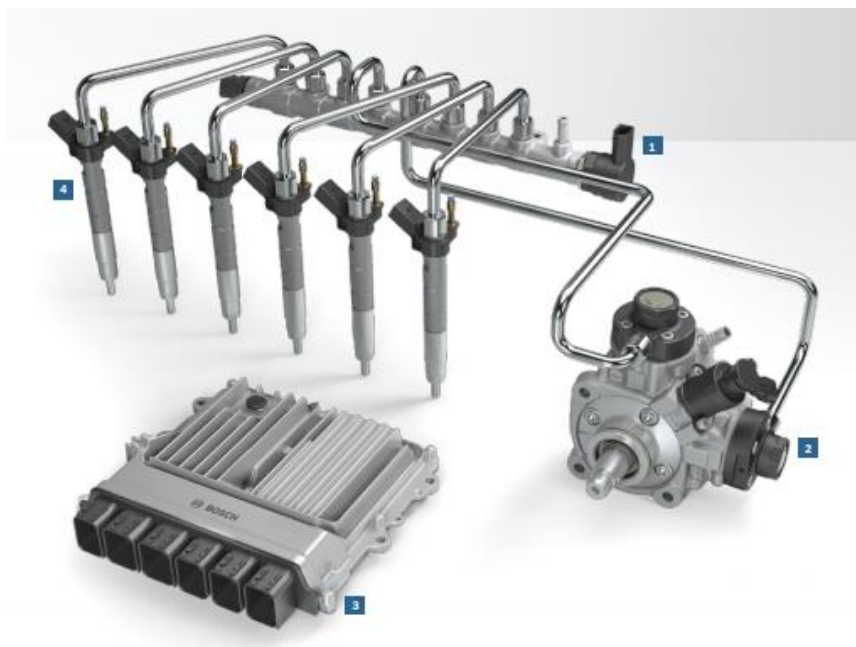
TŘETÍ GENERACE

Na trhu se objevila v roce 2003. Byla průlomovou generací, neboť byl poprvé zaveden piezoelektrický vstřikovač s maximálním tlakem 1600 bar. V roce 2006 se pak systémový tlak zvýšil na 180 MPa a následně o 2 roky poději až na 2000 bar. Regulace tlaku probíhala stejně jako v druhé generaci s využitím dávkovací jednotky. Systém třetí generace byl poprvé v sériové výrobě využit u automobilu Audi A8 [35],[44],[45].

Vstřikovač pracoval na základě piezoelektrického jevu. Firma Bosch používala tzv. piezo-inline vstřikovač. Ten spínal rychlostí větší než deseti tisícina vteřiny, což je méně než polovina doby, kterou potřebuje elektromagnetický vstřikovač. Tím byla možná ještě přesnější regulace množství vstříknutého paliva a umožnění 5 i více vstříknutí během jednoho cyklu. Naftové motory se díky tomu staly ještě úspornější, ekologičtější, tišší a výkonnější. Mnoho motorů tak plnilo emisní normu EURO 4 bez dodatečné montáže DPF (FAP) filtru. Třetí generace využívala čerpadla CP1H, CP3 a později CP4 [4],[42],[46],[47].

Další vývoj třetí generace přinesly systémy vstřikování, jako jsou CRS3-20 s tlakem 2000 bar a CRS3-25 s tlakem 2500 bar. Jsou určena pro motory s počtem válců od 4 do 12. Vstřikovače těchto systémů umožňují velmi malé množství předvstřikované dávky. Oba systémy splňují mnohé emisní normy jako je např. EURO 5 a EURO 6 [48].

Firma Bosch však neotálela a představila nejnovější systém CRS3-27, jehož maximální tlak byl až 2700 bar. Součástí systému byl vstřikovač umožňující nejvýše 10 vstříků v jednom cyklu, vysokotlaké čerpadlo CP4-27 a zásobník paliva HFR-27 umožňující dokonce 60 000 kontrol tlaku během jedné minuty. Samozřejmostí tohoto vyspělého systému bylo splnění všech aktuálních emisních norem [32].



Obr. 36 Systém vstřikování CRS3-27 [32]

(1) – HFR-27 vysokotlaký zásobník

(2) – CP4-27/2 vysokotlaké čerpadlo

(3) – MDG1 elektronická řídicí jednotka

(4) – CRI3-27 piezovstřikovač

- **Piezoelektrický vstřikovač inline**

Dělí se schematicky podle podstatných konstrukčních skupin:

- modul akčního členu,
- hydraulický vazební člen nebo převodník,
- řídicí ventil nebo servoventil,
- modul trysky [34].

Piezoelektrický jev

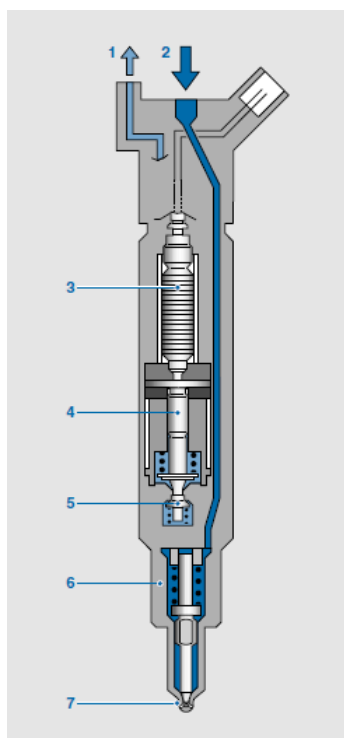
Tento jev objevili Pierre Curie a jeho bratr Jacques v roce 1880. Zjistili, že u některých materiálů, jako jsou křemen a turmalín, může docházet vlivem působení sil k vytvoření elektrického napětí. Dochází totiž k deformaci krystalové mřížky. Posunutím iontů z jejich pravidelné polohy dojde k vytvoření proudového impulsu. Tento proces je obousměrný. Při přivedení napětí na piezoelektrický materiál dojde k rychlé změně jeho délky. Tu pak můžeme použít k vytvoření mechanických sil sloužících k otvírání a uzavírání vstřikovacího ventilu. Pro tyto účely se používají keramické materiály s příměsí oxidu olovnatého nebo zirkoničitého. Odolávají totiž i tepelným podmínkám u vznětových motorů [12],[38].

Základní princip činnosti piezoelektrického vstřikovače

Akční člen (piezoelektrický prvek) není aktivován a nachází se ve výchozí poloze se zavřeným servoventilem. Přípojkou vysokého tlaku je přiváděno tlakové palivo z Railu do řídicího prostoru. Tlak paliva z Railu udržuje jehlu trysky v uzavřeném stavu (tlak nad a pod tryskou je stejný). Následnou aktivací akčního členu dojde k otevření servoventilu a uzavření otvoru obtoku. Dojde k rozdílu průtoku mezi škrcením na výstupu a na přívodu. To způsobí snížení tlaku v řídicím prostoru (nad jehlou trysky) a následně se tryska otevře. Objem řídicího objemu odtéká do zpětného palivového vedení. Uzavírání trysky se pak provádí ukončením aktivace piezoelementu a vzniká opačný jev jako při otvírání. Servoventil opět uvolní obtok a dojde k naplnění řídicího prostoru přes škrcení na přívodu a výstupu. V řídicím prostoru dochází k vzrůstu tlaku. Při určité jeho hraniční hodnotě se začne jehla trysky uzavírat a dojde k ukončení vstřikování [12],[21],[34];

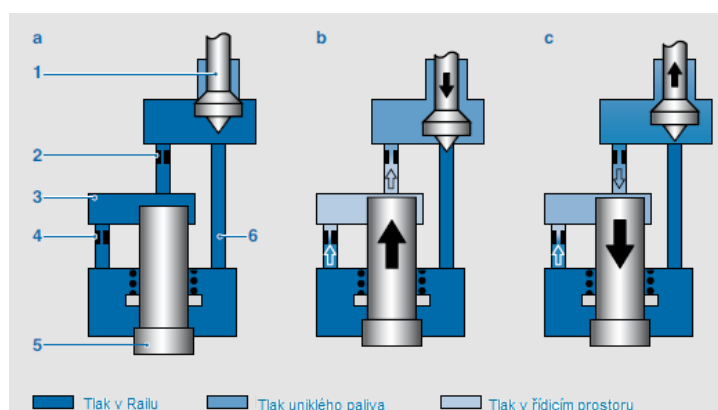
Výhody piezo vstřikovačů:

- nízká hmotnost a malé konstrukční rozměry vstřikovače (270 g místo 490 g),
- nízká hluchost (-3 dB [A]),
- nízká spotřeba paliva (-3 %),
- nižší emise (-20 %),
- zvýšení výkonu motoru (+7 %),
- několikanásobný vstřik s pružným počátkem vstřiku a prodlevami mezi jednotlivými vstřiky,
- velmi malé vstřikované množství při předvstřiku [34].



Obr. 37 Piezovstříkovač [11]

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| (1) – zpětné palivové potrubí | (2) – vysokotlaká přípojka |
| (3) – piezoelektrický regulační modul | (4) – hydraulický vazební člen |
| (5) – servo-ventil (řídící ventil) | (6) – modul trysky s jehlou trysky |
| (7) – vstřikovací otvor | |



Obr. 38 Funkce servoventilu [11]

- | | | |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| a – poloha start | b – jehla trysky se otevírá | c – jehla trysky se zavírá |
| (1) – servoventil | (2) – škrcení na odpadu | (3) – řídicí prostor |
| (4) – škrcení na přívodu | (5) – jehla trysky | (6) – obtok |

ČTVRTÁ GENERACE

Poslední generace měla být předvedena v roce 2008, avšak zdali byla nakonec uskutečněna, není z dostupných zdrojů známo. Měla se vrátit k elektromagnetickým vstřikovačům. Tentokrát měl být ve vstřikovačích poprvé zaveden hydraulický zesilovač tlaku. Tento vstřikovač se zkratkou HADI měl pracovat s převodovým pístem, který měl zvýšit stávající tlak v systému a umožnit vstřikovací tlak až 2500 bar. Tato technika měla otevřít možnost pracovat v samotném řdicím systému se zjevně nižším tlakem a vytvářet požadovaný maximální tlak teprve až ve vstřikovači. Nižší tlak v systému je totiž jednodušeji ovladatelný. Vícenásobné vstřikování mělo být v případě čtvrté generace samozřejmostí z důvodu možnosti řídit regeneraci filtru částic. Méně škodlivin při spalování mělo vznikat také tím, že palivo nemělo být náhle vstříknuto do spalovacího prostoru, ale díky speciálnímu geometrickému dimenzování vstřikovače mělo být vstřikováno s rostoucím tlakem. Měl tak vzniknout příznivý průběh vstřikování, který by umožňoval šetrnější spalování s méně patrnými teplotními špičkami a příslušně redukovanou tvorbou kysličníku dusíku. Také se měla zlepšit příprava směsi, a tím se měl redukovat vznik částic, jako jsou saze a karbon. Konstrukční prostor vstřikovače čtvrté generace se v podstatě měl rovnat potřebám vstřikovače druhé generace [34],[44],[49].

Důležitou výhodou čtvrté generace mělo být to, že díky schopnosti vytvářet požadovaný maximální tlak až ve vstřikovači nemělo nedocházet k velkému mechanickému namáhání jednotlivých částí systému. Proto jedinou částí, která musela být konstruována na maximální tlak, měl být vstřikovací modul. Na druhou stranu však muselo vzrůst doručovací tempo vysokotlakého čerpadla, aby bylo schopno dodat nezbytné množství paliva pro řízení tlaku násobiče [35].



Obr. 39 Vstřikovač HADI [44]

Vysokotlaké čerpadlo CP4

Jedná se o nejmodernější vysokotlaké čerpadlo firmy Bosch. Je používáno jak u osobních, tak u užitkových vozidel s výkonem motoru do 350 kW. Pracuje s tlakem do 2000 bar a je poháněno od klikové hřídele. Existují dvě varianty čerpadla, které se liší pouze rozdílným tělesem. První variantou je čerpadlo CP4.1 s jednou vysokotlakou hlavou válce a druhou možností je CP4.2 se dvěma vysokotlakými hlavami válce, které mezi sebou svírají úhel 90°.

U tohoto čerpadla došlo ke konstrukční inovaci z hlediska převodového poměru mezi otáčkami čerpadla a motoru. U předchozích čerpadel byl převodový poměr zpravidla 1:2 a 2:3 a čerpadlo se točilo pomaleji než motor. Čerpadlo CP4 umožňuje převodový poměr až 1:1. Další novinkou je použití dvou vaček na hřídeli čerpadla. Ty zaručují dva podávací zdvihy na jednu otočku čerpadla oproti předchozím čerpadlům, kde byl možný pouze jeden podávací zdvih na otočku. U vysokotlakých čerpadel CP4 je množství paliva regulováno na straně sání pomocí dávkovací jednotky [41],[50].



Obr. 40 Vysokotlaké čerpadlo CP4 [42]

5.1.2 GENERACE BOSCH PRO UŽITKOVÁ VOZIDLA

Pro užitková vozidla existují již 4 generace systému Common Rail. Byly použity pouze elektromagnetické vstřikovače, které se lišily maximálními tlaky. Byla však využívána různá vysokotlaká čerpadla.

PRVNÍ GENERACE

První generaci pro užitková vozidla zavedla firma Bosch v roce 1999 s tlakem 1400 bar. Tento systém se poprvé objevil u lehkých nákladních vozidel Iveco TurboDaily. Bylo zde použito vysokotlaké čerpadlo CP1. O rok později se tento systém objevil i u těžkých nákladních vozidel Renault Premium. Obsahoval však vysokotlaké čerpadlo CP2. Pro vstřikování paliva byl použit elektromagnetický vstřikovač CRIN1 [30],[42].

Vysokotlaké čerpadlo CP2

Jedná se o dvou pístové řadové čerpadlo, které je mazáno olejem. Součástí vysokotlakého čerpadla je podávací zubové čerpadlo umístěné na prodloužení vačkové hřídele. To nasává palivo z nádrže a přes filtr ho dodává až do dávkovací jednotky. Palivo je do pístových jednotek přiváděno pomocí dvojdílného vstupního/výstupního ventilu [3].

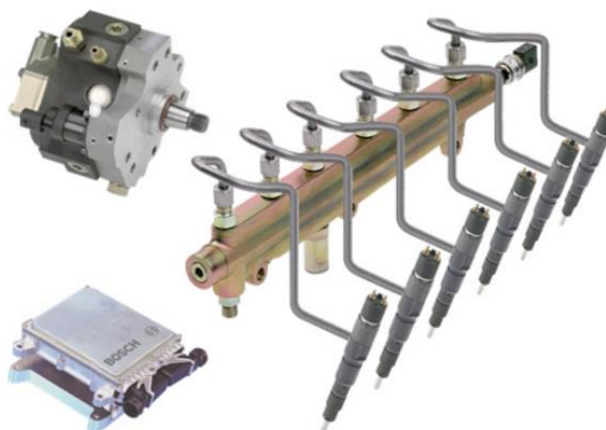


Obr. 41 Vysokotlaké čerpadlo CP2 [19]

DRUHÁ GENERACE

Dva roky po zavedení první generace byl představen druhý systém vstřikování Common Rail pro užitková vozidla. Byl použit opět stejný elektromagnetický vstřikovač, tentokrát pod označením CRIN2, avšak jeho vstřikovací tlak se zvýšil na hodnotu 1600 bar. Poprvé byl montován do amerických pick-upů. Tato generace používala vysokotlaká čerpadla CP3 a CP1H. Došlo ke snížení emisí, spotřeby paliva a vzrůstu výkonu [30],[42],[51].

Jedním z nejnovějších systémů je systém CRSN2-16BL s maximálním tlakem 1600 bar. Obsahuje vstřikovač s vysokou účinností. Jeho maximální počet vstřiku je 3 až 4. K systému jsou určeny čerpadla CB28 a CPN2, které jsou mazány olejem a CP4, jenž je mazán palivem. Všechny funkce systému jsou pak monitorovány pomocí elektronické řídicí jednotky EDC 17. Tento systém je určen pro širokou škálu použití (např. zemědělské, stavební a důlní stroje, generátory atd.) o výkonu motoru mezi 200 až 400 kW. Splňuje normy jako Tier 3 a Tier 4 interim [52].



Obr. 42 Systém druhé generace pro užitková vozidla [42]

TŘETÍ GENERACE

Byla zavedena v roce 2005 a přinesla velký skok ve vývoji. Kromě zvýšení tlaku na 1800 bar došlo k úspoře paliva z důvodu použití vstřikovače bez přepadu. Snížilo se tak dobrovolné množství z vysokotlakého čerpadla, a tím jeho hnací výkon. Tak vzrostla účinnost vstřikovacího systému a efektivita motoru. Jako jedno z prvních bylo použito vysokotlaké čerpadlo CP3.3NH. Dávkování paliva bylo zajištěno pomocí škrticího ventilu [3],[30].

Systém se nadále vyvíjel a vznikaly systémy, jako jsou CRSN3-20 a–22, které vznikly v roce 2010. Největší novinkou firmy Bosch však byl systém CRSN3-25 s tlakem až 2500 bar. Pro tento systém byla navržena různá vysokotlaká čerpadla CP4 a také čerpadlo CPN5-25/2. Výhodou je široká škála využití pro středně těžká a těžká užitková vozidla s motory do 16 válců. Své kvality ukazuje zejména u traktorů a stavebních strojů nebo v námořnictví. Kromě toho splňují emisní normy jako EURO VI, US10, Tier 4, JPNLT, IMO 3 [30],[33].

ČTVRTÁ GENERACE

Poslední generace byla uvedena do produkce v roce 2007. V Evropě je však dostupná až od roku 2011. Tato generace je určena pro těžká užitková vozidla. Objevuje se zde, stejně jako u čtvrté generace pro osobní vozidla, hydraulický násobič tlaku. Zde je také palivo nejprve stlačováno pod nižším tlakem v systému a požadovaný tlak vzniká až ve vstřikovači. První systém čtvrté generace, pod označením CRSN4-21, měl maximální tlak ve vysokotlakém čerpadle 900 bar a ve vstřikovači 2100 bar. V roce 2012 se však objevil nový zdokonalený systém CRSN4-25 s maximálním tlakem ve vysokotlakém čerpadle do 1200 bar a vstřikovači do 2500 bar. Pracuje s vysokotlakým čerpadlem CPN5-12/2 a mimo jiné splňuje i emisní normy EURO V, EURO VI, US10 a JPNLT [30],[42],[52].

Hlavními výhodami jsou:

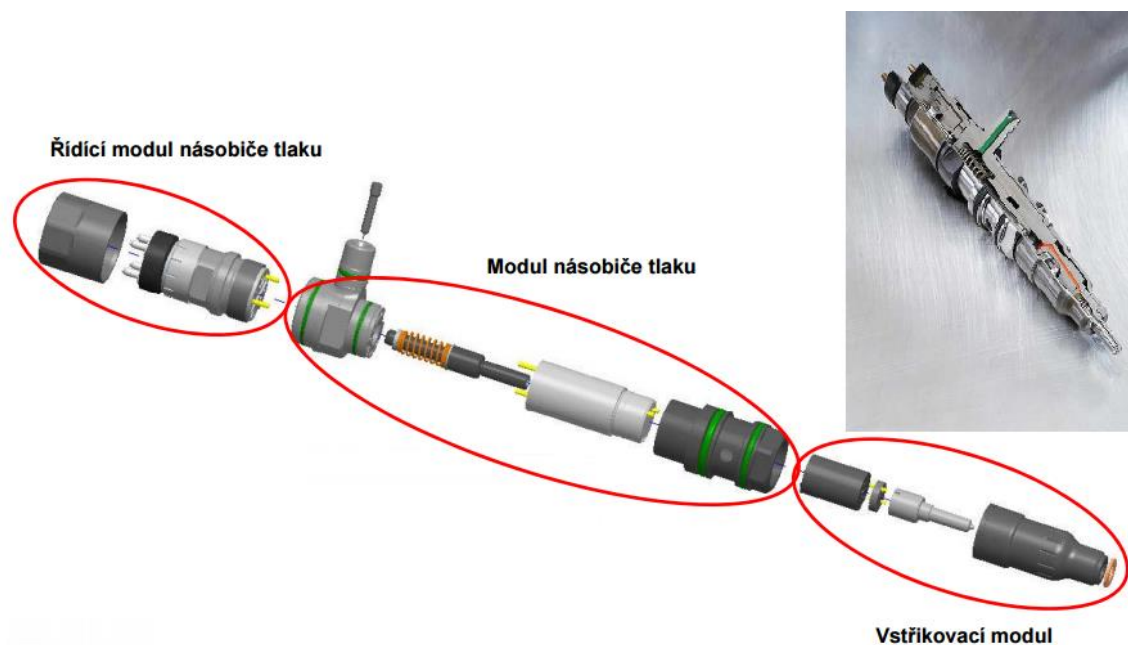
- obsahuje méně komponent pracujících pod vysokým tlakem, což snižuje riziko úniku paliva a zvyšuje trvanlivost,
- menší zatížení vysokotlakého čerpadla,
- menší zatížení na ventilu ve vstřikovači,
- možnost kontroly procesu nárůstu tlaku hlavního vstřiku,
- redukce NO_x,
- redukce tlakových špiček v systému [42].

Využití v automobilech

- Mercedes-Benz Actros,
- Freightliner Cascadia,
- Fuso Super Great [53].

- **Vstřikovač s násobičem tlaku (HADI)**

Tento vstřikovač obsahuje dva elektromagnetické ventily. Jeden slouží k působení na jehlu trysky a druhý na násobič tlaku. Flexibilní aktivace těchto elektromagnetických ventilů dovoluje variabilní formování hlavního vstřiku. Existují 3 varianty aktivace vstřikovacího modulu a vznikají tlakové profily boot/ramp/square [35],[53].



Obr. 43 Vstřikovač s násobičem [53]

Vysokotlaké čerpadlo CPN5

Jedná se o dvou pístové řadové čerpadlo určené pro těžká užitková vozidla. Poslední verze je mazána palivem a umožňuje vytvářet tlak mezi 250 až 2500 bar [36],[42].



Obr. 44 Vysokotlaké čerpadlo CPN5 [54]

5.2 DENSO

5.2.1 PRVNÍ GENERACE

Firma Denso uvedla první systém Common Rail na trh v prosinci 1995. Byl určen pro nákladní vozidla a maximální tlak dosahoval 1200 bar. V červnu roku 1999 uvedla na trh i systém pro osobní vozidla. U něj se systémový tlak vyšplhal na 1450 bar [55].

Hlavní znaky generace:

- vysoký vstřikovací tlak (1450 bar),
- pilotní vstřík,
- recirkulace spalin (EGR),
- turmodmychadlo s variabilní geometrií lopatek (VNT),
- 4 ventily/válec,
- oxidační katalyzátor,
- emisní norma EURO 3 [55].

5.2.2 DRUHÁ GENERACE

Byla uvedena do výroby v roce 2002 (v Evropě až 2003). V té době se jednalo o systém s největším systémovým tlakem. Poprvé byl použit v automobilu Mazda MPV. Obsahoval elektromagnetický vstřikovač pod označením G2S s maximálním tlakem 1800 bar umožňujícím až 5 vstřiků v jednom cyklu. První vysokotlaké čerpadlo bylo dvou pístové s písty uloženými pod úhlem 180° určené pro osobní vozidla a druhé tři pístové čerpadlo pro středně velká nákladní vozidla [56],[57].

Hlavní znaky generace:

- vysoký vstřikovací tlak (do 1800 MPa),
- vícenásobný vstřík,
- chlazení recirkulace spalin,
- VNT,
- filtr pevných částic (DPF),
- NO_x katalyzátor [58].

Tato generace se dál vyvíjela a v roce 2005 byl zaveden piezoelektrický vstřikovač G2P. Tento vstřikovač byl vynalezen ve spolupráci s firmou Toyota. Piezoelektrický vstřikovač byl schopen až 5 vstřiků v cyklu s minimálním intervalem mezi pilotním a hlavním stříkem 0,1 ms. Druhá generace používala čerpadla pod označením HP2, HP3 a HP4 [56],[57],[59].

Hlavními výhodami druhé generace byl tišší chod motoru (6.5 dB[A]) a snížení spotřeby paliva. Kromě toho vzrostl vstřikovací tlak, možnost vícenásobného vstřiku a velká přesnost kontroly malého množství vstřikovaného paliva. Díky tomu byla schopna splnit emisní normu EURO 4 i bez filtru pevných částic [58].

5.2.3 TŘETÍ GENERACE

Objevila se v roce 2007 s elektromagnetickým vstřikovačem G3S s tlakem 2000 bar. O rok později se objevil piezoelektrický vstřikovač G3P s totožným maximálním tlakem. Zlepšila se rychlost mezi vstřikovacími intervaly a schopnost až 9 vstřiků v cyklu. Nová generace systému tak vyhověla požadavkům v souladu s novými emisními normami EURO 4 a EURO 5. Tyto systémy měly být použity v automobilech Nissan, Toyota a Isuzu [56],[57],[60].

5.2.4 ČTVRTÁ GENERACE

Nejnovější vstřikovací systém obsahoval elektromagnetický vstřikovač G4S a vysokotlaké čerpadlo HP6. Maximální tlak se vyšplhal na hodnotu 2500 bar. Nový systém měl napomoci zvýšení účinnosti paliva o 3 % a zároveň redukovat pevné částice až o 50 % a NO_x o 8 %. Toho se mělo docílit zlepšením konstrukční struktury vstřikovačů, vysokotlakého čerpadla a Railu. Další úpravou bylo vytvoření komponent z nových materiálů, aby se docílilo vyššího vstřikovacího tlaku. Systém byl zaveden v osobních, užitkových, zemědělských a stavebních vozidlech [61].

V roce 2012 Denso komercializovalo řídicí systém motoru pod názvem i-ART („intelligent-Accuracy Refinement Technology“), ve kterém měly vstřikovače vestavěny tlakový senzor a mohly tak měřit tlak v reálném čase a kontrolovat vstřikované množství a jeho časování pro každý jednotlivý vstřikovač. Pro tuto generaci bylo určeno jedno pístové čerpadlo HP5S. Denso však již pracuje na vývoji vstřikovacího systému, který bude dosahovat tlaků až 3000 bar a bude mít nižší dopad na životní prostředí [62].



Obr. 45 Systém čtvrté generace firmy Denso [61]

5.3 DELPHI

5.3.1 DELPHI UPCR

Diesel Unit Pump Common Rail systém je inovativní koncept řízení motoru, který používá moderní technologii Common Railu, takzvanou osvědčenou „zelenou“ strategii. Byl navržen pro aplikaci v malých a středních dieselových motorech s počtem válců od 1 do 4. Avšak ideální jsou zejména pro malá vozidla a pro zemědělská a průmyslová zařízení. První generace s tlakem až 1600 bar a maximálně 5 vstřiky v cyklu nabídla nákladově přijatelné a robustní řešení vyvinutí systému, který by dosahoval optimální spotřeby a dodržoval striktní emisní normy jako EURO 4. V současné době firma Delphi pracuje na vývoji druhé generace tohoto systému (až 2000 bar), který by pomohl výrobcům splnit emisní normy EURO 5, EURO 6 a další. Hlavními částmi systému UPCR je rychlý elektromagnetický vstřikovač a robustní vysokotlaké čerpadlo s dávkovacím ventilem na straně sání [63].



Obr. 46 Systém UPCR druhé generace [63]

5.3.2 DELPHI F2E

F2E High Pressure Heavy Duty Diesel Common Rail systém je koncept prvního vysokotlakého systému Common Rail na světě, který je namontován v hlavě válce. Využívá architektury systému čerpadlo-tryska (EUI) s maximálním tlakem 2700 bar. Jsou použity dva druhy vstřikovačů. První typ vstřikovačů („nečerpací“) funguje jako tradiční vstřikovač systému Common Rail. Zatímco druhý typ vstřikovačů („čerpací“) funguje obdobně jako jednotka systému čerpadlo-tryska a obsahuje oddělené čerpací jednotky řízené vačkou v hlavě válců, které tlakují Rail. Když je ve trysce vyžadováno palivo, čerpací element se izoluje a palivo putuje z Railu přímo do trysky vstřikovače. Počet čerpacích jednotek tak není přiřazen počtu vstřikovačů a je optimalizován podle požadavků na výkon v závislosti na jeho využití. Tento systém je určen pro 9 až 16 litrové těžké dieselové motory používané jak pro silniční, tak mimo silniční provoz. Splňuje velké množství emisí: EURO VI, post-US 10, post-Japan NLTR, Tier IV [63].

5.3.3 DELPHI F2P

Delphi F2P High Pressure Heavy Duty Diesel Common Rail systém je založen na technologii elektronicky řízeného kompaktního vstřikovacího čerpadla (EUP). Palivo v Railu je tlakováno pomocí dvou nebo více čerpadel, které jsou poháněny vačkou umístěnou v bloku motoru. V závislosti na vyžadované výkonnostní charakteristice se používá počet čerpadel od dvou do šesti. Tento systém je stejně jako F2E určen pro 9 až 16 litrové těžké dieselové motory používané jak pro silniční, tak mimo silniční provoz. Maximální tlak a dodržené emisní normy jsou stejné jako u předchozího systému [63].

5.3.4 DELPHI F2R

Delphi F2R High Pressure Heavy Duty Diesel Common Rail systém je určen stejně jako systémy F2P a F2E pro střední a těžké dieselové motory. Tento systém patří k nejpokročilejším systémům na světě. Umožňuje výrobcům motorů kombinovat výhody vysokého tlaku (až 2400 bar) a plně flexibilního vstřikování pro optimální spalování v celém rozsahu otáček motoru. Splnění emisí: EURO VI, post-US 10, post-Japan NLTR, Tier IV [63].

5.3.5 DELPHI GL5.0

Delphi GL5.0 Heavy Duty Diesel Common Rail Systém umožňující tlak do 2000 bar je navržen pro rozvíjející se trhy, které jsou zaměřeny zejména na emisní normy EURO 4 a EURO 5 s možností vylepšení pro budoucí zpřísněné požadavky na emise (EURO 6) [63].

5.3.6 DELPHI MDCR

Multec Medium Duty Diesel Common Rail Systém firmy Delphi obsahuje rychlé elektromagnetické vstřikovače pod označením DFI 1-5, které jsou schopny přesně odměřit i malé množství vstřikovaného paliva. To zajišťuje velmi dobré emisní a hlukové vlastnosti systému. Tento systém obsahuje také výkonné vysokotlaké čerpadlo DFP3 s integrovaným podávacím čerpadlem a dávkovacím ventilem umožňujícím dosáhnout tlaku až 2000 bar. Systém je vhodný pro velké dodávky a středně těžká nákladní vozidla s motory o maximálním výkonu 320 kW. Splňuje emise EURO 6, US10, Tier 4 Final a další [63],[65].

5.3.7 DELPHI MULTEC LIGHT DUTY DIESEL COMMON RAIL SYSTÉM

Tento systém se zakládá na rychlých elektromagnetických vstřikovačích, které mají preciznost odměření paliva a výkonnost podobnou jako konkurenční piezo vstřikovače. Další vymožeností systému je jedno pístové vysokotlaké čerpadlo DFP6, jehož účinnost se pohybuje nad 90 % s možností dosáhnout tlaku až 2000 bar. Mimo jiné obsahuje současně individuální vstřikovací charakteristiku (I3C), která napomáhá optimalizovat kontrolu při několikanásobném vstřikování v průběhu životnosti motoru. Systém je konstruován pro lehká užitková vozidla podporující „downsizing“. U některých osobních vozidel může dokonce dodržet emisní normu EURO 6 bez nutnosti dodatečného zpracování NO_x [66].



*Obr. 47 Multec Light Duty Diesel Common Rail systém
(pro 3 válcový motor)[66]*

5.4 LIEBHERR

5.4.1 CRS 11.2

Firma Liebherr vyvinula systém vstřikování Common Rail pro motory s objemem válce do 3 litrů a výkonem od 120 kW až do 1000 kW. Tento systém je dostupný ve dvou verzích jak pro instalaci vstřikovače shora, tak z boku. Díky tomu je tento systém vhodný pro všechny běžné geometrie a instalační prostory motoru. Systém obsahuje výkonné dvou pístové in-line čerpadlo, jehož maximální tlak je 2200 bar a je schopno dodat 320 l/h. Kromě toho obsahuje vstřikovače umožňující 5 vstřiku v jednom cyklu. Kontrolu celého systému má na starosti řídicí jednotka ECU 3 nebo ECU 2HD. První zmiňovaná řídicí jednotka je určena pro ekonomickou a funkční optimalizaci motoru s 4 nebo 6 válci a byla vytvořena pro motory jak silniční, tak i terénní s možností následné úpravy výfukových plynů. Druhá řídicí jednotka je pak určena až pro kontrolu 12-ti vstřikovačů. Tento systém splňuje velké množství emisních norem, jakými jsou EPA Tier 4f, EPA Tier 4i, EU Stage IV a EURO 5 a 6. Systém byl primárně navržen pro využití v mimo silničních vozidlech, avšak je možné ho použít i pro těžká silniční užitková vozidla. Má dost velkou oblast využití, a to ve stavebních strojích, jeřábech, těžebních, zemědělských a lesních strojích, a také ve speciálních vozidlech a generátorech [67],[68].



Obr. 48 Liebherr CRS 11.2 [67]

5.4.2 CRS 11.5

Druhým systémem firmy Liebherr je systém 11.5, který je určen pro velké motory s výkonem 1000 až 5000 kW a objemem jednoho válce do 6 litrů. Na rozdíl od verze 11.2 je vstřikovač instalován pouze shora. Vstřikovač umožňuje až 4 vstřiky na cyklus a maximální množství paliva, které je schopen vstřikovač dodat je až 1200 mm³ na cyklus, což zajistí spolehlivou dodávku paliva do motorů. Tento systém je dostupný se dvěma verzemi vysokotlakých čerpadel mazaných olejem. První pěti pístové in-line vysokotlaké čerpadlo je schopno dopravit 825 l/h s maximálním tlakem 2200 bar. Druhá verze čerpadla má dokonce 6 pístů a dopravované množství je až 900 l/h. Použité jsou zde stejné řídicí jednotky jako v systému 11.2. Tento systém splňuje následující emise: EPA Tier 2, IMO III, TA Luft, EPA Tier 4f. Slouží pro využití v těžebních a stavebních strojích, pro železniční a námořní aplikaci a také pro stacionární aplikaci v generátorech [67],[68].



Obr. 49 Liebherr CRS 11.5 [67]

6 BUDOUCÍ VÝVOJ

V dnešní době se automobilový průmysl rozvíjí velmi rychle. Proto je zcela logické, že se bude i systém Common Rail nadále vyvíjet a zlepšovat. Velká pozornost bude kladena zejména na zlepšení účinnosti motoru. Kromě toho bude brán zřetel i na stále rostoucí a zpřísnující se emisní normy. Bude třeba učinit určitý kompromis mezi vylepšováním vznětových motorů a dodržováním narůstající emisní legislativy. Pozitivním faktorem ve zlepšování systému bude zejména úprava vstřikovačů a zpřesňování jejich vstřiku a vstřikovaného množství. Důležitým faktorem bude i schopnost vstřikovače provést, co nejvíce vstřiků, tzv. několikanásobný vstřik, během jednoho cyklu. Tím bude zaručeno lepší spalování paliva. Vzroste tak žádaná účinnost a sníží se emise, spotřeba paliva a hluk.

Dalším důležitým krokem vpřed bude zvyšování vstřikovacích tlaků. Tím dojde k jemnějšímu rozptýlu paliva a jeho ještě lepšímu spalování. Materiály komponentů systému Common Rail, například Railu, však musí být schopny tomuto zvyšujícímu se tlaku odolat. Proto bude nejvíce záviset na tom, zda se podaří vyrobit materiál, který odolá vysokým tlakům při cyklickém zatěžování.

V dnešní době se lidé začínají čím dál víc zajímat o životní prostředí. S tím souvisí i vývoj systémů, a proto se i automobilový průmysl začíná více soustředit na jiné možnosti pohonu. Jednou z cest je využití hybridních motorů. Ty kombinují spalovací motor s elektromotorem. V dnešní době se již hybridní motory vyrábějí v kombinaci se zážehovými i vznětovými motory. Takové systémy existují, například u firmy Porsche, která vyrábí hybridní automobil 918 Spyder, firmy Volkswagen – Passat GTE nebo Peugeot 3008 HYbrid4.

Pokud bychom chtěli přemýšlet ještě nad vzdálenější budoucností, tak se budeme muset uchýlit k jiným možnostem pohonných hmot, vzhledem k ubývajícimu množství ropy. Jednou z možností budou elektromobily a motory na vodík. K těmto pohonům však vede ještě dlouhá cesta. Ve světě však již jezdí elektromobily, které využívají pouze energii z elektrobaterií. Mezi hlavní průkopníky patří firma Tesla.

ZÁVĚR

Touto bakalářskou prací jsem chtěl vysvětlit základní princip funkce vstřikovacího systému Common Rail, poukázat na to, jak jednotlivé komponenty fungují, uvést jeho velký rozsah uplatnění a v neposlední řadě nastínit jeho vývoj a budoucnost. Právě vývoj a budoucnost systému byl opěrným bodem této práce. Zde jsem chtěl zpracovat přehled jednotlivých generací různých firem a poukázat na jejich hlavní změny.

Průkopníkem ve vývoji systému Common Rail je bezpochyby firma Bosch, která jako první v roce 1997 patentovala tento systém. Ten se stal průlomem ve sféře systému vstřikování paliva. Jediným systémem schopným konkurence byl systém čerpadlo-tryska. Avšak s příchodem systému Common Rail se systém čerpadlo-tryska začal stávat méně populárním. Požadavky na vstřikovací systémy motorů totiž stále rostly a hlavním cílem bylo snížení spotřeby, tišší chod a snížení emisí. Právě systém Common Rail byl schopen zaručit všechny tyto nároky, zejména dodržet zpřísňující se emisní legislativu, a zastoupit tak starší systémy. Jeho hlavním přínosem byla schopnost vytvářet vysoký vstřikovací tlak a přesně v konkrétním čase dávkovat určité množství paliva. Proto i dnes se většina automobilových firem zaměřuje hlavně na vývoj právě tohoto systému.

Firma Bosch je jednou z největších firem zaměřujících se a ustavičně pracujících na vylepšení jak starších, tak i vytváření nových generací systému Common Rail. Udělala také velký a důležitý krok vpřed a uvedla čtvrtou generaci pro užitková vozidla. Zde se poprvé objevil vstřikovač s násobičem tlaku. Systém díky němu pracoval s nižšími tlaky a vyšší vstřikovací tlak vznikl až ve vstřikovači. Tento krok pomohl zmírnit namáhání materiálu systému, protože jediný vstřikovač musel být vyroben s přizpůsobením na vysoký tlak. Palivo tak nebylo vstříknuto do spalovacího prostoru náhle, ale s rostoucím tlakem. To mělo za následek šetnější a lepší spalování a redukcí teplotních špiček. Uvedení čtvrté generace systému na trh způsobilo velkou mezeru mezi doposud konkurujícím systémem čerpadlo-tryska. Jedinou slabostí systému Common Rail je vznik pulzujících vln v tlakovém zásobníku při dopravě paliva vysokotlakým čerpadlem, a také ztráty tlaku ve vysokotlakém potrubí. Toto jsou však pouze malé nedostatky systému, které jsme schopni pomocí určitých konstrukčních úprav snížit nebo jim zamezit.

Ve světě stále dochází k inovaci spalovacích motorů. S tím jsou spjaty také zpřísňující se emisní normy. Novinkou, která měla pomoci dodržet všechny tyto požadavky, bylo použití tzv. „downsizingu“. „Downsizing“ je snížení zdvihového objemu motoru při stálém zachování výkonu. Ten měl být zachován díky využití turbodmychadla, které zvyšuje tlak vzduchu vstupujícího do pracovního prostoru a tím i jeho hmotnost. Tento trend však nesplnil očekávání. Automobilky však našly řešení a uchýlily se k tzv. „upsizingu“, který by měl splnit všechny zvyšující se nároky. Motory budou i nadále přepřínovány turbodmychadlem nebo turbokompresorem, ale vzroste jejich zdvihový objem.

Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem má velké využití v oblasti motorů, a dokonce si troufám říci, že se jedná o jasnou jedničku pro využití v budoucnosti.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor: Historický vývoj*. Havlíčkův Brod: Grada, 2012, 160 s. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [2] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily. (3), Motory*. 7. vydání. Brno: Nakladatelství Avid, spol. s r. o., Brno, 2012, 179 stran : barevné ilustrace. ISBN 978-80-87143-21-6.
- [3] LANDHÄUßER, Felix. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. Přeložil Stanislav HANÁK. Praha: Robert Bosch, 2005. Technické vzdělávání. ISBN 80-903132-7-2.
- [4] JANCO, Marcel. *Autorubrik: Vstrekovacia sústava dieslového motora – common rail* [online]. 2012 [cit.2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/vstrekovacia-sustava-diesloveho-motora-common-rail>
- [5] *Autopříslušenství prvovýbava: Desáté výročí common rail v osobních automobilech* [online]. 2007 [cit.2017-05-04]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=589
- [6] *Alfisti.cz: Alfa 156 (1997)* [online]. In: . [cit.2017-05-04]. Dostupné z: http://www.alfisti.cz/admin/modules/article_detail.php?articleCode=I91
- [7] *The Auto Channel: 1997 Mercedes-Benz E320 A dual package of elegance and performance* [online]. In: . [cit.2017-05-04]. Dostupné z: http://www.theautochannel.com/vehicles/new/reviews/1997/iacoponi061097_mercedes_e320.html
- [8] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2003, 578 s. : il. ISBN 80-238-8756-4.
- [9] ŠIKL, Petr. *Tipcars: O motorech typu Common Rail* [online]. 2006 [cit.2017-05-04]. Dostupné z: <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/o-motorech-typu-common-rail.html>
- [10] *InterTRUCK: System common rail* [online]. Czosnów, 2013, (1) [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://cdn.intercars.eu/files/3/7/3/373.pdf?v=2014-12-03>
- [11] REIF, Konrad, ed. *Diesel Engine Management: Systems and Components*. Německo: Springer Vieweg, 2014, 370 s. ISBN 978-3-658-03980-6.
- [12] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily. 4, Příslušenství*. 2. vyd. Brno: Avid, 2008, 313 s.: il. (převážně barev.). ISBN 978-80-87143-08-7brož.
- [13] SILNIKI SPALINOVE 1 – PODSTAWY, INSTRUKCJA LABORATORYJNA: BADANIE I REGULACJA ELEMENTÓW UKŁADU PALIWOWEGO SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM ; UKŁAD COMMON RAIL. In: *Politechnika Wrocławska: Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych* [online].

- Wrocław, 2012 [cit.2017-05-05]. Dostupné z: http://www.pojazdy.pwr.wroc.pl/filez/20120930143630_common.pdf
- [14] HLADNÝ, Radek. *Palivová soustava vznětového motoru EDC se systémem Common Rail* [online]. In: . [cit.2017-05-05]. ISSN 1802-4785. Dostupné z: http://www.sossoukyjov.cz/data/file/SIV/VY_32_INOVACE_4c%20PS/VY_32_INOVACE_4c19.ppt
- [15] *High Pressure Rail: Diesel – Common Rail System* [online]. [cit.2017-05-05]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/en/de/_technik/component/PT_PC_DS_Common-Rail-System_PT_PC_Diesel_1497.html?compId=942
- [16] JANCO, Marcel. *Autorubrik: Tlakový zásobník - rail, regulátor tlaku, snímač tlaku a teploty klukového a vačkového hriadeľa* [online]. 2012 [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/tlakovy-zasobnik-rail-regulator-tlaku-snimac-tlaku-a-teploty-klukoveho-a-vackoveho-hriadela>
- [17] VLK, František. *Příslušenství vozidlových motorů*. Brno: František Vlk, 2002, 338 s. : il. ; 23 cm. ISBN 80-238-8755-6.
- [18] KITCHEN, Tony. *Common Rail Diesel Fuel Systems* [online]. [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.yildiz.edu.tr/~sandalcı/dersnotu/AKTraining.pdf>
- [19] *AUTONET: VI. Palivová soustava s tlakovým zásobníkem Common Rail* [online]. c2011 [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://net-auto.cz/moodle/mod/resource/view.php?id=221>
- [20] VACULÍK, Martin. *AUTO.CZ: Diesellová Pro a Proti VIII: Opravy vstřikovačů common railu* [online]. 2012 [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/dr-diesel-opravy-vstrikovacu-common-railu-od-tri-do-ctnacti-tisic-67684>
- [21] *ELUC: Vstřikovací systém Common Rail* [online]. [cit.2017-05-17]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1469>
- [22] VLČEK, Jiří, Ing. *Www.tzb-info.cz: Snímače v motorových vozidlech* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/texty/0001/000102_cidla_snimace.pdf
- [23] *C5club: Princip – Systém přímého vstřikování HDI* [online]. [cit.2017-05-05]. Dostupné z: http://www.c5club.cz/clanky/vseobecne-informace-o-c5/motory/princip-system-primeho-vstrikovani-hdi#.WNJSe281_I
- [24] *Autopříslušenství prvovýbava: Řídicí jednotka Bosch EDC 7 pro užitková vozidla* [online]. In: . 2003 [cit.2017-05-05]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=230
- [25] *D-FENS: Service: Vyčištění škrtků klapky svépomocí* [online]. 2008 [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://dfens-cz.com/service-vycisteni-skrty-klapky-svepomoci/>

- [26] Sien: *Žhavicí svíčky* [online]. [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.sien.cz/zhavicisvicky.html>
- [27] BAUMRUK, Pavel. *Příslušenství spalovacích motorů*. Praha: ČVUT Praha, 1996, 236 s. ISBN 80-01-01103-8.
- [28] AUTONET: *Moderní diagnostika* [online]. c2010 [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://net-auto.cz/moodle/mod/resource/view.php?r=359>
- [29] *Diesel Systems: Common Rail System CRS1-16 with 1,600 bar and solenoid injectors*. Stuttgart, 2011 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://www.bosch-mobility-solutions.cz/media/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/04_DS_Sheet_Common_Rail_System_CRS1-16_with_1600_bar_20110826.pdf
- [30] *Jubileum ve výrobě vstřikování vznětových motorů* [online]. In: . 2013 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: <http://aa.bosch.cz/ostatni-informace/tiskove-zpravy/2013/2013-04-11.html>
- [31] *Common-rail injection systems: CRS2-25 diesel common-rail system with solenoid valve injectors and 2,500bar*. Stuttgart, 2015. Dostupné také z: http://www.bosch.co.jp/tms2015/en/products/pdf/DS_ProductDataSheet_CRS2-25_EN.pdf
- [32] *Common-rail injection systems: CRS3-27 diesel common-rail system with piezo injectors and 2,700 bar*. Stuttgart, 2015 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://www.bosch.co.jp/tms2015/en/products/pdf/DS_ProductDataSheet_CRS3-27_EN.pdf
- [33] *Diesel Systems: Common Rail Systems CRSN3 with 2,000 to 2,500 bar*. Stuttgart, 2014 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/DS-Sheet_P1AS_CRSN3-25_EN_low.pdf
- [34] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011, 296 s.: obr. (některé barev.), tabulky, grafy. ISBN 9788024734750.
- [35] *Euro 4 and Beyond – Role of Diesel Fuel Injection Systems* [online]. ZIEGLER, Gerhard. SAE International, 2004 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: <http://walshcarlines.com/pdf/Impact%20of%20Diesel%20Fuel%20Injection%20SIAT%202005.pdf>
- [36] *Diesel Systems: Common Rail Systems CRSN4 with 2,100 to 2,500 bar with pressure amplifier*. Stuttgart, 2014 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/DS-Sheet_P1BG_CRSN4-25-EN_low.pdf
- [37] BUSCH, Roger. *10th Diesel Emission Reduction Conference: Advanced Diesel Common Rail Injection System for Future Emission Legislation* [online]. In: . Robert Bosch [cit.2017-05-17]. Dostupné z: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/2004_deer_busch.pdf

- [38] Autopříslušenství prvovýbava: Bosch stručně, Systémy pro vstřikování nafty, Zvýšení tlaku na 2500 barů, modulární magnetické ventily a piezoelektrický princip [online]. In: . 2013. [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=1152
- [39] *Diesel Systems: Common Rail System CRS1-14UP with 1,450 bar and solenoid injectors*. Stuttgart, 2013 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/DS-Datenbl_CRS1_14UP_En.pdf
- [40] Autopříslušenství prvovýbava: Nová technologie vznětových motorů od společnosti Bosch Common-rail: velký požitek z jízdy a nízká spotřeba paliva [online]. In: . 2006 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=504
- [41] *Commonrail.ru: Diesel systém common-rail BOSCH* [online]. In: . 2015 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://www.commonrail.ru/tech/tech_02.php
- [42] *BOSCH: Uklady Common Rail do samochodów osobowych i dostawczych* [online]. [cit.2017-05-17]. Dostupné z: https://pl.bosch-automotive.com/pl/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel_2/common_rail_injection/common_rail_do_samochod_w_osobowych/common_rail_diesel_motorsys_parts_1
- [43] *Diesel Systems: Common Rail Systems CRS2 with 1,600 to 2,200 bar and solenoid injectors*. Stuttgart, 2013 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://www.bosch-mobility-solutions.fr/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/01_DS_Sheet_Common_Rail_Systems_CRS2_20110826.pdf
- [44] Autopříslušenství prvovýbava: Systémy vstřikování Common-Rail s vyššími vstřikovacími tlaky od firmy Bosch [online]. In: . 2005 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=436
- [45] *Autopříslušenství prvovýbava: Třetí generace Common Rail od Bosche: Poprvé sériově v Audi A8* [online]. In: . 2003 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=286
- [46] DOHLE, Ulrich. Autopříslušenství prvovýbava: Snížení emisí vznětových motorů pomocí inovativní techniky – nejnovější vstřikovací systémy firmy Bosch pro čisté a úsporné vznětové motory [online]. In: . Boxberg, 2005 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=423
- [47] *Autopříslušenství prvovýbava: Úspěch s bleskovým tempem inovací* [online]. In: . 2006 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=505
- [48] *Diesel Systems: Common Rail Systems CRS3 with 2,000 to 2,500 bar and piezo injectors*. Stuttgart, 2013 [cit.2017-05-19]. Dostupné z: http://products.bosch-mobility-solutions.com/specials/de/crs/pdf/CRS_3_25_en.pdf
- [49] DOHLE, Ulrich. Autopříslušenství prvovýbava: Snížení emisí vznětových motorů pomocí inovativní techniky – nejnovější vstřikovací systémy firmy Bosch pro čisté a úsporné vznětové motory [online]. In: . Boxberg, 2005 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=423

- [50] Autopříslušenství / Autodiagnostika: Bosch na veletrhu Autotec 2008 – díly a služby z jedné ruky [online]. In: . 2008 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=671
- [51] *Swedespeed.com: The Common Rail Diesel Injection System Explained* [online]. 2004 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://www.swedespeed.com/news/publish/Features/printer_272.html
- [52] *Diesel Systems: Common Rail System CRSN Baseline for medium- and heavy-duty off-highway applications.* Wuxi, 2012 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: http://auto2015.bosch.com.cn/ebrochures2015/energizing_powertrain/ds/cv/crsn_baseline_en.pdf
- [53] *Aplikace hydrauliky v automobilech: Vstřikovací systém „Common Rail“ 4. generace pro užitkové automobily* [online]. In: . Robert Bosch, 2013 [cit.2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.cahp.cz/wp-content/2013/03/05-Vysokotlaka-hydraulika-v-palivovych-systemech.pdf>
- [54] *Bosch Auto Parts: Common rail* [online]. [cit.2017-05-17]. Dostupné z: https://au.bosch-automotive.com/en/parts_and_accessories/specials_1/commercial_vehicle/engine/common_rail/common_rail_motor_truck_special_parts
- [55] SINGH, Sukhbir a M.K.G BABU, ed. *Proceedings of the third International Conference on Automotive and Fuel Technology: Synergy of Fuel and Automotive Technology for Clean Environment.* Mayapuri: Allied Publishers, 2004. ISBN 0-7680-1441-7.
- [56] NURCHI, Luca. *Common Rail Injectors Denso* [online]. 2016 [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/LucaNurchi/common-rail-injectors-denso>
- [57] ZHAO, Hua, ed. *Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development: Diesel Engines, Volume 2.* Elsevier, 2009. ISBN 978-1-84569-745-7.
- [58] *Fuel Injection Systems 2003: IMechE Conference Transactions 2003-2.* Trowbridge: Cromwell Press, 2003, 252 s. ISBN 1-86058-399-7. ISSN 1356-1448.
- [59] WRIGHT, Gus. *Fundamentals of Medium/Heavy Duty Diesel Engines.* Sudbury (United States): Jones & Bartlett Learning, 2015. ISBN 978-1284067057.
- [60] KELLY, Kevin.M. *AUTOMOTIVE DESIGN & PRODUCTION: Denso Seeks Next Diesel Breakthrough* [online]. 2005 [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.adandp.media/articles/denso-seeks-next-diesel-breakthrough>
- [61] *DieselNet: Denso announces 2500 bar common rail injection system* [online]. 2013 [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.dieselnets.com/news/2013/06denso.php>
- [62] *Green Car Congress: DENSO develops new 2500-bar diesel common rail system; reductions in fuel consumption and emissions* [online]. 2013 [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.greencarcongress.com/2013/06/denso-20130627.html>

- [63] *DELPHI: Common Rail Systems* [online]. [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <http://delphi.com/manufacturers/cv/powertrain/common-rail-systems>
- [64] *HULDA: Diesel FIE: Delphi získává více než 2 miliardy US \$ nových kontraktů.* [online]. 2010 [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.autohulda.cz/index.php?page=clanky&idclanky=1000&clanek=1014>
- [65] *HULDA: DELPHI: neuvěřitelná nabídka 7 typů vstřikovacích systémů pro nákladní vozidla a industriální aplikace* [online]. [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.autohulda.cz/index.php?page=clanky&idclanky=1000&clanek=1006>
- [66] *DELPHI: Diesel Systems* [online]. [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.delphi.com/manufacturers/auto/powertrain/diesel/crfs/multecder>
- [67] *High-Performance and Fuel-Efficient: Common Rail Systems by Liebherr* [online]. Germany [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/252089/liebherr-common-rail-systems.pdf>
- [68] *LIEBHERR: Common Rail Systems* [online]. [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/cze/products/components/injection-systems/common-rail-systems/common-rail-systems.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ASR		Systém regulace prokluzu kol
DFP		Filtr pevných částic
EDC		Electronic Diesel Control
EGR		Recirkulace spalín
EGS		Elektronické řízení převodovky
ESI		Elektronický systém informací
ESP		Elektronický stabilizační program
FAP		Filtr pevných částic
HADI		Hydraulically Amplified Diesel Injector
OBD		On Board Diagnostic System
VNT		Turmodmychadlo s variabilní geometrií lopatek
-	[dB]	hladina intenzity zvuku (hlučnost)
I	[A]	proud
l	[m]	délka
m	[kg]	hmotnost
n	[min ⁻¹]	otáčky
p	[Pa]	tlak
P	[W]	výkon
PS	[W]	metrická koňská síla
Q	[l/h]	průtok
t	[°C]	teplota
U	[V]	napětí
V	[m ³]	objem
v	[km/h]	rychlost
η	[%]	účinnost